

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea del CRAI-Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la CRAI-Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

Propuesta de proceso para la transformación con fines de reciclaje, del principal residuo aglomerado distribuido y procesado por la empresa Madecentro Colombia S.A.S

D.I. Aura Karina Reyes Echeverría

Trabajo de grado para optar el título de Magíster en Ciencias y Tecnologías Ambientales

Director del Proyecto

MsC. Luis Eduardo Bautista

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División De Ingenierías Y Arquitectura

Facultad De Química Ambiental

2018

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por su apoyo incondicional y su constante acompañamiento.

A Luis Carlos Quintero, por su motivación y amor en todo el proceso para alcanzar esta nueva meta profesional.

A mi director, Luis Eduardo Bautista, por su confianza y por haberme ayudado a enfocar la investigación y profundizar en ella.

A todas las personas de la empresa Madecentro Colombia S.A.S que colaboraron con información y apoyo en las pruebas de esta investigación.

La autora

Tabla de Contenido

Resumen.....	11
Summary.....	12
Lista de abreviaturas	13
Introducción	14
1. Propuesta de proceso para la transformación con fines de reciclaje, del principal residuo aglomerado distribuido y procesado por la empresa Madecentro Colombia S.A.S	17
1.1 Definición del problema.	17
1.2 Justificación.	20
1.3 Objetivos.	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos.	27
2. Revisión del estado actual de las tecnologías.....	27
2.1 Documentos de conceptos, información e investigaciones referentes al proyecto.	28
2.1.1 Ecuación de búsqueda.....	29
2.1.2 Selección detallada.....	30
2.2 Listado de procesos y tecnologías utilizadas para la transformación de láminas de madera en el mundo.....	32
2.2.1 Casos de uso de tecnologías en el mundo.....	41
2.2.2 Resultado de la Búsqueda.	45
2.3 Normatividad.	47
2.4 Estado actual de la empresa Madecentro Colombia S.A.S.....	50
3. Cuantificación por peso y perfil ambiental.	56
3.1 Recopilación y resultado de Información.	56

3.2	Análisis perfil ambiental.	61
3.3	Listado de entradas y salidas.....	69
3.4	Listado de impactos ambientales.	71
4.	Propuesta de adaptación Tecnológica.....	75
4.1	Requerimientos del proceso.....	76
4.2	Diagramas de caso de uso.	79
4.3	Evaluación de proceso.	80
4.4	Descripción del sistema.	84
4.5	Viabilidad de la propuesta según requerimientos de adaptabilidad.....	95
5.	Usos de la adaptación Tecnológica.....	99
5.1	Proyectar los usos para el producto resultante.....	99
5.2	Análisis de costo medio ambiental- beneficio del uso del producto.....	101
	Conclusiones	105
	Recomendaciones	107
	Referencias Bibliográfica	108
	Apéndices	115

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Filtrado de artículos por tema base de datos SCOPUS</i>	30
Tabla 2 <i>Filtrado de artículos de investigación por tema base de datos ELSEVIER</i>	31
Tabla 3 <i>Filtrado datos por tema en GOOGLE</i>	31
Tabla 4 <i>Filtrado de información relevante en búsqueda</i>	32
Tabla 5. <i>Listado de procesos y tecnologías</i>	45
Tabla 6 <i>Aspectos detectados dentro de la empresa</i>	53
Tabla 7 <i>Categorías en millones en ventas de almacenes de Madecentro Colombia S.A.S,</i> <i>(Madecentro, 2017)</i>	57
Tabla 8 <i>Cuadro comparativo de Perfiles ambientales MDP-MDF</i>	63
Tabla 9 <i>Indicadores de impactos del CVA del MDP comparado con MDF en un mes de residuos</i> <i>en dos almacenes dentro de la empresa Madecentro</i>	72
Tabla 10 <i>Necesidades del sistema</i>	76
Tabla 11 <i>Evaluación de procesos por requerimiento</i>	83
Tabla 12 <i>Plan de capacitación de personal para la separación en la fuente de residuos</i>	88
Tabla 13 <i>Características Molino triturador, (Co, 2018)</i>	90
Tabla 14 <i>Estudio de viabilidad</i>	96
Tabla 15 <i>Empresas representativas del sector del mueble y madera en Colombia</i>	100
Tabla 16 <i>Matriz Leopold</i>	102
Tabla 17 <i>Tabla de descripción de visita técnica a la empresa</i>	115
Tabla 18 <i>Protocolo realizado para la toma de datos de la prueba de peso de madera</i>	117
Tabla 19 <i>Registro de datos de la prueba de peso de madera</i>	118
Tabla 20 <i>Formato de entrevista</i>	119
Tabla 21 <i>Procesos para el tratamiento de residuos de tablero aglomerado</i>	120

Lista de figuras

Figura. 1 Proceso de fabricación del MDP por Novopan del Ecuador.(Novopan, 2018).....	21
Figura. 2 Mapa de procesos de fabricación de un tablero aglomerado MDP. (ANFTA Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros, n.d.).....	22
Figura. 3 Emisiones de CO ₂ en la manufactura de tablero aglomerado. (Wang et al., 2017).....	24
Figura. 4 Listado de procesos químicos utilizados para el manejo de residuos sólidos aglomerados	47
Figura. 5 Listado de procesos Físicos utilizados para el manejo de residuos sólidos aglomerados.	47
Figura. 6 Puntos de venta Madecentro en Colombia, (Madecentro, 2017).	50
Figura. 7 Procesos de producción Madecentro, (Madecentro, 2017).	51
Figura. 8 Procesos básicos de manufactura de un tablero aglomerado.....	53
Figura. 9 Recolección de material de desecho de Madecentro por parte de la empresa Rediba de Bucaramanga.	55
Figura. 10 Ventas de un almacén tipo A y uno tipo C.....	58
Figura. 11 Porcentaje de residuo en láminas cortadas en un mes de MDF y MDP	59
Figura. 12 Peso total de aglomerado en tres sierras analizadas	59
Figura. 13 Pesos total MDP por sierra analizada.....	60
Figura. 14 Peso total MDF por sierra analizada.	61
Figura. 15 Porcentajes de material residual, MDF y MDP.....	62
Figura. 16 Gráfico de porcentajes de gases producidos en un vertedero por efecto del MDP y el MDF como relleno.....	64

Figura. 17 Gráfico de porcentajes de Metano liberado a la atmosfera y Metano que se oxida un vertedero.	65
Figura. 18 Gráfica de impactos en vertederos por suministro de MDP, en un tablero de . Potencial de calentamiento global (GWP), carbono fósil (GWPF), carbono biogénico (GWPB), Potencial de agotamiento del ozono (ODP), Potencial de acidificación (AP), Potencial de eutrofización (PE), Potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP), Potencial de agotamiento abiótico (ADP), recursos de energías fósiles no renovables (ADPF).....	65
Figura. 19 Impacto de uso de energía primaria no renovable en un MDP, (Piekarski et al., 2017)	66
Figura. 20 Gráfica de consumo de agua en el CV del MDP, (Piekarski et al., 2017)	67
Figura. 21 Volumen de material residual recolectado en un mes por dos almacenes de Bucaramanga.	67
Figura. 22 Impactos generados en el volumen de material de residuos en un mes de prueba de la empresa Madecentro.	68
Figura. 23 Medida de impactos generados en un mes de residuos de aglomerado.	68
Figura. 24 Diagrama de entradas y salidas del sistema de producción de un tablero aglomerado.....	70
Figura 25 Porcentaje de Calentamiento global generado por el MDP y MDF en un mes.....	73
Figura. 26 Agotamiento de ozono, Acidificación, Eutrofización generados por el MDF y MDP en un mes.....	73
Figura. 27 Resultado gráficos de la sumatoria de impactos MDF y MDP, según los volúmenes de material recolectados en un mes	74

Figura. 28 Diagrama del Sistema Actual	79
Figura. 29. Diagrama del sistema propuesto.....	80
Figura. 30 Procesos para análisis de adaptación tecnológica.	82
Figura. 31 Especificaciones del proceso completo de adaptación tecnológica	84
Figura. 32 Diagrama de procesos de adaptación tecnológica	86
Figura. 33 Trituradora (Co, 2018).....	89
Figura. 34 Prensa de rodillos para tableros aglomerados, foto: Wood Based Panels, (United States Environmental Protection Agency, 2002).	91
Figura. 35 Maquinaria de prensado en caliente para generar bigas de material comprimido, (Pallet, 2018).....	92
Figura. 36 Maquina procesadora de partículas de madera para generación de bloques, Briquette machine,(Systems, 2016)	93
Figura. 37 Maquinaria de presión de material aglomerado para la creación de cubos de madera,(Systems, 2016).....	93
Figura. 38 Costos operacionales aproximados.....	99
Fig. 39. Marco de puerta en madera de pino, (Toops, 2018)	100
Figura. 40 Matriz Dofa del proceso	103
Figura. 41 Registro fotográfico de la prueba de peso de material en la empresa Madecentro Colombia S.A.S	116

Lista de apéndices

Apéndice A. Protocolo prueba de peso de material aglomerado	115
Apéndice B Entrevista.....	119
Apéndice C Procesos	120

Resumen

La empresa Madecentro genera residuos de tableros aglomerados de madera, que son desechados al vertedero municipal de basuras sin tratamiento. Estos se elaboran con madera, resinas y aditivos, que son de degradación lenta. El objetivo de este trabajo es determinar una adaptación tecnológica con fines de reciclaje que supla las necesidades de la región. Metodológicamente se estudian cuatro fases: en la fase 1, Revisión, se realiza una recolección de información de las tecnologías actualmente utilizadas en el mundo para la transformación de material aglomerado, fase 2, Identificación, se cuantifica por peso el material residual y se analizan los perfiles ambientales, fase 3, Propuesta, se genera una adaptación tecnológica, fase 4, Se proponen usos para el material resultante del proceso de transformación.

Palabras Claves: madera, medio ambiente, impacto, reciclaje, residuos.

Summary

The Madecentro company generates waste from agglomerated boards made of wood, which are discarded at the municipal garbage dump without treatment. These are made with wood, resins and additives, which have slow degradation. The objective of this work is to determine a technological adaptation for recycling purposes that understands the needs of the region. Methodologically, four phases are studied: in Phase 1, Review, a collection of information is made of the technologies currently used in the world for the transformation of agglomerated material, phase 2, identification, the residual material is quantified by weight and the environmental profiles, phase 3, Proposal, a technological adaptation is generated, phase 4, uses are proposed for the material resulting from the transformation process.

Keywords: wood, environment, impact, recycling, waste.

Lista de abreviaturas

ADP: Potencial de agotamiento abiótico

ADPF: recursos de energías fósiles no renovables.

AP: Potencial de acidificación

COL\$: Moneda Colombiana

GWP: Potencial de calentamiento global

GWPB: Carbono Biogénico

GWPF: Carbono fósil

MDP: Medium particle board

MDF: Medium density fiber board

ODP: Potencial de agotamiento del ozono

PE: Potencial de eutrofización

POCP: Potencial de creación de ozono fotoquímico

PML: Producción más limpia

Introducción

MADECENTRO COLOMBIA S.A.S. es una empresa comercializadora de productos y servicios para el sector del mueble, la madera y la construcción a nivel nacional, con 112 puntos de venta, y más de 2.000 empleados al terminar el 2017. (Madecentro, 2018)

En la empresa Madecentro y el sector del mueble y la madera, se generan residuos de materia prima provenientes de los procesos de transformación de tableros aglomerados. Estos productos tienen una conformación físico-química a base de madera de diferentes especies que son procesadas, y sustancias químicas como adhesivos y aditivos para proveer las propiedades física y mecánicas necesarias para su uso en la industria. Los aditivos tienen la capacidad de proveer la resistencia a la humedad, la resistencia al fuego, y los adhesivos la resistencia mecánica del producto. Se tienen cuatro resinas básicas, la resina ureica a base de urea formaldehído, la resina fenólica a base de fenol-formaldehído, resina melamínica a base de melamina-formaldehído, y la resina MUF a base de melamina urea fenol-formaldehído, entre los cuales es sobresaliente el contenido de formaldehído por ser un agente antiséptico y tóxico, por lo cual hace más difícil la biodegradabilidad de los tableros para los microorganismos. Por ejemplo, el tablero de fibra de densidad media (MDF, por sus siglas en inglés) es difícil de reciclar, de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental EPA, debido a las técnicas de producción utilizadas en su fabricación y su contenido de formaldehído en las fibras.

Todos los residuos generados en el punto de venta son almacenados en la zona de bodegaje, sin un proceso de separación o adecuación. En la recolección de estos desechos se usa recipientes de 220 litros, en promedio se obtiene esta medida diaria de desechos de lámina de madera por cada máquina vertical de corte. Por último, los residuos semanalmente son recolectados por la Empresa Municipal de Aseo de Bucaramanga - EMAB, a los cuales las empresas del sector

realizan un pago mensual por recolección de residuos especiales. Estos son depositados en el relleno municipal, por ser considerados un material no reciclable entre la clasificación de disposiciones de la ciudad, (Contenido, 2014).

Un Tablero MDF tiene espesores que van desde 1.8 mm hasta 70 mm con una densidad promedio de 840 kg / m³, su composición es la siguiente, (Declaration, 2017):

- Madera (principalmente madera de pino y eucalipto utilizada): 80-88%. El material reciclado se identifica de acuerdo con la norma EN 14021.
- Urea de resina - formaldehído (u otros): 6-10%
- Agua: 5% -9%
- Emulsión de parafina: 0,2% -0,6%
- Papel impregnado con resinas MUF¹: 160 g / m²

Determinando los componentes con mayor impacto ecológico , se determina el gasto energético generado en la producción del tablero, con un análisis se evalúa el manejo y consumo de los portadores energéticos relacionados a su proceso productivo (Becerra, 2013).

Teniendo en cuenta la problemática mencionado anteriormente, se plantea en este proyecto, una propuesta que ayude a detectar dentro de la empresa Madecentro Colombia S.A.S el material de mayor impacto ecológico que se está generando dentro del proceso productivo y a mitigar el gasto medio-ambiental de los residuos mencionados.

Para la ejecución de este proyecto se plantea un diseño metodológico en cuatro fases.

¹ MUF: Melamina Urea Formaldehido. Tableros estructurales para ambientes húmedos.

En la fase 1, llamada Revisión, se realiza una recolección de información de las tecnologías actualmente utilizadas en el mundo para la transformación de material aglomerado, se revisan las experiencias obtenidas en la implementación de procesos, la maquinaria utilizada y los productos obtenidos. Se analiza la empresa Madecentro con sus requerimientos y sus necesidades ambientales.

Seguidamente, en la Fase 2, Identificación, se realiza una cuantificación de peso de material residual y se analizan los perfiles ambientales, para seleccionar el material aglomerado que se va a someter a la adaptación tecnológica, con lo cual se encuentra el producto que está generando mayor impacto ambiental como residuo.

Posteriormente en la Fase 3, de Propuesta, se genera una adaptación tecnológica que cumple con la normatividad colombiana, un proceso amigable con el medio ambiente y que promueva la mitigación de los costos medio-ambientales producidos por los residuos.

Por último, en la fase 4, Se proponen usos para el material resultante del proceso de transformación establecido, buscando generar un beneficio ambiental en el mercado e implementado en un proceso como materia prima sustitutiva.

Finalmente, el propósito de este proyecto es analizar desde un caso real en la empresa Madecentro Colombia S.A.S, la necesidad en Bucaramanga de una adaptación tecnológica, que suministre beneficio con el aprovechamiento de los residuos de tablero aglomerado que se producen en la industria del mueble y la madera, además de generar una propuesta que favorezca la empresa y la sociedad en general.

1. Propuesta de proceso para la transformación con fines de reciclaje, del principal residuo aglomerado distribuido y procesado por la empresa Madecentro Colombia S.A.S

1.1 Definición del problema.

En la empresa Madecentro Colombia S.A.S, dentro del portafolio de productos que comercializa, ofrece 6 tipos de tableros aglomerados según su composición y más de 100 variantes según su recubrimiento, color, propiedades químicas, y textura. Son utilizados como materia prima para la realización de mobiliario arquitectónico, entre otros subproductos (Madecentro, 2018). Estos tableros, son sometidos a diferentes procesos de transformación, como corte y enchape, necesarios para su posterior utilización por el cliente. Para esto se incluye la optimización en el corte de las láminas, para reducir los residuos en cada proyecto, como resultado de los servicios de corte y maquinado se obtienen residuos de diferentes tipos de tableros aglomerados dependiendo del proyecto del cliente, cómo: Tablero de fibra de densidad media (MDF, según sus siglas en ingles), tablero de partículas de densidad media (MDP, según sus siglas en ingles), Tablero de astillas o virutas orientadas (OSB, según sus siglas en ingles), tablero contrachapado comúnmente conocido con TRIPLEX, tablero de madera maciza, entre otros.

El portafolio de productos es amplio y la diversidad de componentes de cada producto puede variar de la misma manera, por lo tanto, las propiedades físico-químicas también pueden ser diferentes, dependiendo de la aplicabilidad del producto y las necesidades dentro del mercado. Por consiguiente, los residuos que se derivan no tienen unas propiedades ni conformación físico-química uniforme y pueden variar de acuerdo con los requerimientos del cliente o el diseño, estas diferencias pueden establecerse en tamaño, peso o color según sus propiedades físicas y en densidad, aditivos, absorción de humedad, entre otras propiedades químicas.

Los volúmenes de material sin clasificar que diariamente son desechados en cada uno de los 112 almacenes del país, se calculan en kilogramos, donde según observaciones realizadas, se obtiene un recipiente diario de material por sierra de corte, con desechos mezclados de tableros aglomerados y melamínicos de diferentes dimensiones, además de material PVC sobrante del zunchado y el canteado de piezas.

Teniendo en cuenta que el objetivo económico de la empresa es comercializar productos y servicios en el sector del mueble, la madera y la construcción, la empresa no está equipada para realizar una transformación del material de residuo, además se tiene desconocimiento de los procesos necesarios para el reciclaje como materia prima, o en la generación de nuevos productos. Además de esto, la empresa no cuenta con la infraestructura, ni maquinaria para reprocesar el residuo.

Por lo tanto, actualmente dichos residuos se disponen de la siguiente manera:

- Son depositados en rellenos sanitarios o botaderos por las empresas municipales de aseo, sin ningún tratamiento previo.
- La empresa y los clientes con residuos entregan este material a los interesados en usarlo como combustible.
- El material particulado MP10 es usado como abono o relleno.
- Recolección del material por terceros para diferentes fines.

Los residuos se pueden clasificar en tres, primero el material particulado que se caracteriza por ser la menor partícula obtenida del corte o conocido como el polvo de madera, clasificado como MP10, segundo el retal aprovechable que son las piezas de tablero que tienen tamaño considerable que pueden servir de cuñas o de utilidad para el carpintero, y por último, el retal desperdicio son las piezas de menos de 30 x 30 cm que son desechadas por su tamaño y calidad.

Con la descripción anterior de la situación actual, se identifica una variedad de condiciones que afectan directa e indirectamente a la empresa y a la comunidad en general. Por lo cual, cabe mencionar las afectaciones más evidentes, donde se encuentra:

1. El impacto económico para el cliente, quién compra lámina de materia prima, de la cual un porcentaje de la misma se convierte en residuo en el proceso de transformación, convirtiéndose en una pérdida de producto y de dinero. Consecuencia de esto, dicho residuo puede tener dos caminos; primero, el cliente recolecta el residuo y se lo lleva, o segundo, el residuo es dejado en la empresa para su posterior disposición al vertedero municipal.

2. El incremento del área de bodega requerido en cada punto de venta, esto afecta directamente la reducción de la capacidad de almacenaje de productos nuevos.

3. Consecuencia del almacenamiento no planificado, se observa la generación de plagas por acumulación excesiva de residuos y prolongado bodegaje, lo cual relaciona directamente la salud de los trabajadores.

4. El riesgo legal, ya que la empresa se expone a posibles sanciones económicas por el incumplimiento de la Ley 430 de 1998, artículo 2, "por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones", publicada en el Diario Oficial No. 43219, del 21 de enero de 1998, y la cual en el Artículo 6°. Responsabilidad del generador. El generador será responsable de los residuos que él genere. La responsabilidad se extiende a sus afluentes, emisiones, productos y subproductos por todos los efectos ocasionados a la salud y al ambiente.

5. Por último, teniendo en cuenta que el 40 % de la economía mundial se basa en productos biológicos (Nature, 2011), esta empresa se beneficia directa o indirectamente de la variedad de los recursos ecológicos y realiza un gasto energético para la elaboración de la materia prima

comercializada, por lo cual, se considera un impacto negativo en el medio ambiente la generación de residuos de tableros de madera que se desechan en el proceso de transformación, sin tener un uso útil para el cual fue diseñado.

Así que la pregunta de investigación es: ¿Cómo aprovechar el residuo del material aglomerado con mayor impacto ambiental proveniente de los procesos de corte en Madecentro Colombia S.A.S, mediante una transformación adecuada para fines de reciclaje?

1.2 Justificación.

La Federación Europea de Asociaciones de Fabricantes (EPF) establece que la producción de Tableros derivados de la Madera en 25 países europeos, representa un volumen de negocio en torno a los 22.000 millones de euros anuales y más de cien mil empleos. La Federación señaló también que la capacidad de producción de paneles de aglomerado de partículas (PB) y de fibras de madera (MDF) permite almacenar el equivalente a 1,2 millones de toneladas de CO₂ por año en paneles que pueden ser utilizados en aplicaciones en la industria del mobiliario y en la construcción (Sostenible, 2018).

En la economía circular que se está gestando y desarrollando, según EPF, se produce la incorporación anual de más de 280 mil m³ de madera reciclada como materia prima de los paneles derivados de madera, evitando la deposición de estos residuos de madera en destinos inapropiados, y extendiendo el valor de esta importante materia prima.

La principal materia prima de un tablero es la madera, la cual inicia con un proceso de fabricación en la empresa Novopan del Ecuador, quien es el principal proveedor de la empresa Madecentro Colombia S.A.S, la cual cuenta con los sistemas más modernos de América Latina. En la figura 1, se muestra el proceso completo desde las plantaciones de árboles de pino y eucalipto hasta el almacenamiento del mismo, pasando por procesos mecánicos y químicos.

Novopan del Ecuador posee un Patrimonio forestal de más de 7.400 hectáreas establecidos con las especies de Pino y Eucalipto que usa en el proceso (Novopan, 2018), como se puede ver en la figura 1.

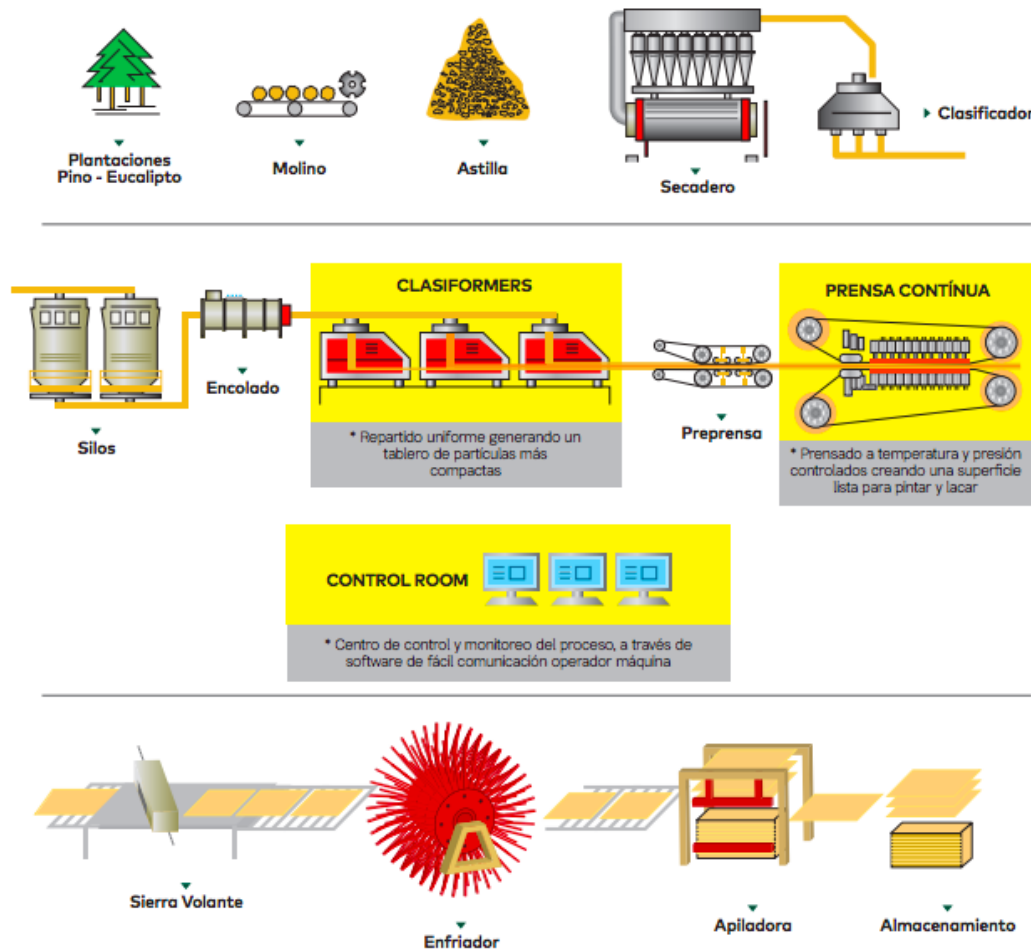


Figura 1. Proceso de fabricación del MDP por Novopan del Ecuador.(Novopan, 2018)

En este proceso de producción de tableros aglomerados se hace uso de recursos naturales como el agua, el aire, la energía y principalmente la madera, los cuales en diferentes proporciones se reflejan en el producto terminado y por ende en los desechos producidos por el corte de la lámina, en la figura 2, se refleja el mapa de procesos básico de la fabricación de tablero de partículas MDP donde se implementan estos recursos.

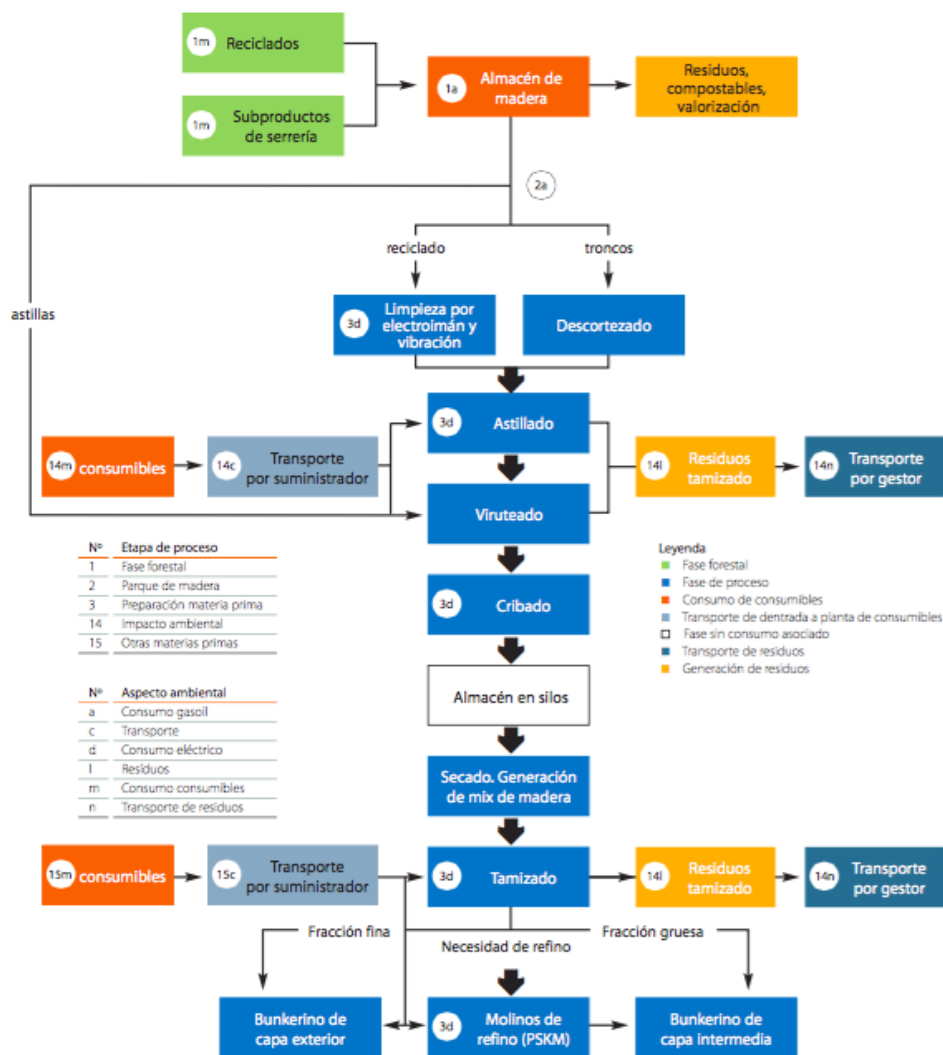


Figura 2. Mapa de procesos de fabricación de un tablero aglomerado MDP. (ANFTA Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros, n.d.)

En el caso del Tablero de Partículas de Mediana Densidad, por sus siglas en inglés MDP, con espesores que van desde 4 mm a 50 mm, y con una densidad promedio de 700 kg / m³ tienen la siguiente composición (Finsa, 2017):

- Madera: madera de pino y eucalipto se utilizan para fabricación de tableros de partículas; un pequeño porcentaje consiste en material reciclado de paquetes recuperados (paletas de

madera), residuos de procesos industriales y de libre de contaminantes acabados de madera (80-88%). El material reciclado se identifica bajo norma EN 14021.

- Resina: melamina-urea-formaldehído (u otros): cartón e impregnación de papel decorativo (6-10%)
- Agua: 5-9%
- Emulsión de parafina: agregada a la formulación durante el proceso de vinculación, mejorando así resistencia al agua (0.2-0.6%).

El impacto en términos de agua en este caso es del 5 a 9 %, en la composición del tablero, excluyendo el factor humano, o el uso de la maquinaria, entre otros factores que influyen en el proceso y que aumentan la proporción de recurso agua que se utiliza en el proceso. Por lo cual, se realiza el análisis de entradas (materias primas y energías primarias) y salidas (emisiones) del ciclo de vida del proceso de producción de los tableros aglomerados, donde se observa que además del recurso agua, se tiene un gasto energético de electricidad, cumpliendo una labor esencial en el proceso para el descortezado, la producción de chapas, la manufactura del tablero, el secado, y acabados. Se producen al mismo tiempo emisiones al medio ambiente, como la producción de CO₂, gases y residuos de otros componentes del proceso.

Las emisiones de CO₂ en la producción del tablero, se han incrementado con la creciente demanda de producto en el mundo, identificando el tablero de partículas de mediana densidad MDP y MDF, como un alto generador de CO₂, desde el 2011 en adelante como se muestra en la Figura 3. Donde se alcanzan emisiones superiores a 50 Mt/yr. (Wang, Zhang, Nie, & Yang, 2017)

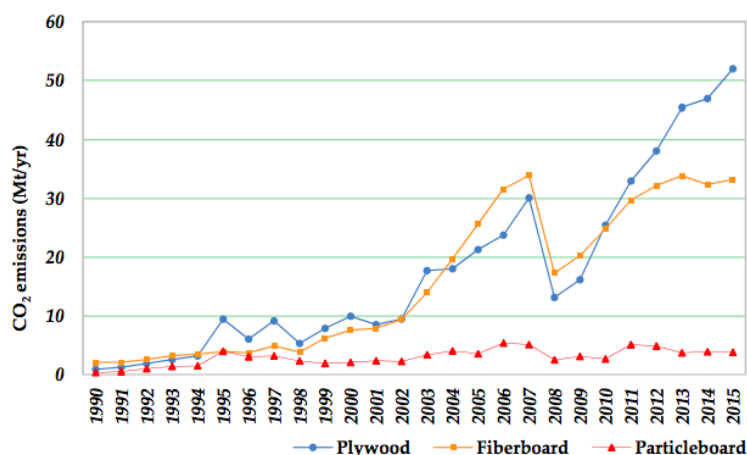


Figura 3. Emisiones de CO2 en la manufactura de tablero aglomerado. (Wang et al., 2017)

Entre los procesos de transformación que lleva acabo Madecentro con la materia prima, se encuentra el despiece de láminas, que se realiza después de la realización del diseño, para que el cliente adquiera las piezas cortadas de acuerdo con la modulación del producto, existe un porcentaje variado de desperdicio dependiendo de las medidas suministradas, iniciando por un refile de 1 centímetro que se realiza al iniciar el corte de todas las láminas. Estos desechos son acumulados durante los procesos de producción, lo cual produce varios problemas ambientales, primero, cuando el desecho es material particulado MP10 provoca afectación en la salud del trabajador como irritación en los ojos y obstrucción de vías respiratorias, segundo, altera la calidad del aire (Agency, 2016). Por otro lado, el material de residuo en trozos varia en sus propiedades físicas, en el tamaño, forma y peso de las piezas, por lo cual, son almacenado dentro de cada uno de los puntos de ventas en canecas y ocupan área de almacenaje.

Los dos tipos de residuos son recolectados por la empresa de aseo EMAB², la cual se hace responsable del material y lo dispone, por lo cual, la empresa Madecentro paga una cuota mensual de recolección de residuos especiales. Este proceso se realiza en ciudades donde la

² EMAB, Empresa Metropolitana de Aseo de Bucaramanga.

empresa de aseo está en disposición de realizar la recolección de los desechos de tablero aglomerado, otras ciudades de Colombia no poseen este servicio, por lo cual se paga a terceros para la recolección. En consecuencia, se genera mayor área de almacenamiento y crea un riesgo para la generación de plagas y enfermedades dentro de las instalaciones.

El documento CONPES 2750 de 1994, Reglamenta la ley 142 de 1994, está establecido para sancionar y establece en cuanto al manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos. También, la Constitución política de 1991 en el Artículo 8: Es obligación del estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales.

En conclusión, el problema planteado en este proyecto de residuos sólidos especiales generados por la transformación de tableros aglomerados está vinculado a los puntos clave descritos a continuación(Fronti de García & Cuesta Fernández, 2007):

- **Impacto Ambiental** en términos de costo medio-ambiental.
- **Afectación económica** y nula rentabilidad que genera el desecho para la empresa.
- **Sanciones ambientales** a las cuales está expuesta la empresa teniendo en cuenta la normatividad y legislación ambiental, sumando los costos de contingencia ambiental.
- **Área de almacenamiento** destinada para el almacenamiento del residuo.
- **Afectación social** estimada por la generación de plagas, enfermedades y basuras para vecinos y trabajadores.
- **Desconocimiento** en el reciclado y reúso del residuo que puede ocasionar efectos nocivos a la salud por la posible toxicidad del producto.
- **Pérdida de valor de la inversión energética** implementada tanto en la materia prima como en el proceso de transformación.

- **Costos de ineficiencia:** pérdida de materia prima no convertida en producto y no aprovechada.
- **Pérdidas de ingresos** potenciales por aprovechamiento del material/producto desperdiciado.
- **Pérdidas asociadas al daño en imagen** y competitividad de la empresa por mal manejo o generación excesiva de desperdicios.

El proyecto tiene como finalidad tener un impacto positivo en el costo medioambiental, proponiendo un proceso que se acomode a las necesidades de la región, que plantee el adecuado reciclaje y disposición de los residuos sólidos, de manera que se suplan las problemáticas descritas anteriormente, y cumpla la normatividad y legislación que establece Colombia para la disposición adecuada de residuos sólidos aglomerados.

Por otro lado, para la empresa es un beneficio la mejora de la calidad ambiental del negocio, aumentar la sostenibilidad y competitividad, así como buscar el reconocimiento en proceso de mejora social, ambiental y económica.

Finalmente, esta propuesta puede ser un modelo de aplicación del reciclaje de residuos del sector industrial de la madera, replicable en otras cadenas de almacenes. Y tener otros campos de abordaje como los desechos generados desde la remodelación de inmuebles, donde se desechan piezas de tablero aglomerado de gran tamaño que han terminado su vida útil y tienen como destino final el vertedero municipal.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Proponer un proceso que permita la transformación con fines de reciclaje, del principal residuo aglomerado distribuido y procesado por la empresa Madecentro Colombia S.A.S.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Realizar una revisión del estado actual de tecnologías para la transformación de material aglomerado de madera con fines de reciclaje.
- Seleccionar a través de cuantificación por peso y perfil ambiental, el producto aglomerado que se va a someter al proceso de transformación.
- Elaborar una propuesta de adaptación tecnológica del proceso de transformación de residuo seleccionado en el objetivo anterior.
- Proponer usos para el material resultante del proceso de transformación establecido.

2. Revisión del estado actual de las tecnologías

En la revisión del estado actual de las tecnologías se genera un proceso de búsqueda semi-estructura que inicia con el documento de conceptos, información e investigación referentes al proyecto, segundo, los listados de procesos y tecnologías utilizadas para la transformación de lámina de madera en el mundo, tercero, los casos de uso de tecnologías en el mundo y el análisis de las tecnologías.

2.1 Documentos de conceptos, información e investigaciones referentes al proyecto.

En este capítulo se realiza la búsqueda de información semi-estructurada en bases de datos científicos, se analiza la literatura desde los aspectos fundamentales de reciclaje de láminas de madera procesada, propiedades de las láminas, composición físico-química, normatividad y legislación ambiental colombiana, tecnologías y procesos utilizados alrededor del mundo para la transformación del material residuo de láminas de madera procesada.

- Metodología de la Revisión: Para realizar la búsqueda se plantearon 5 etapas: Primero, se establecieron los términos de búsqueda, segundo, se determinó la ventana de tiempo de búsqueda, tercero, se generaron términos de exclusión dada la gran cantidad de artículos obtenidos, cuarto, se realiza una exclusión por nombre relacionado, y por último, un mapeo por resumen.

- Términos de Búsqueda: Se realizó una búsqueda exploratoria en literatura gris, donde se encontraron artículos relacionados con el tema de investigación. Se realizó la lectura de los artículos relacionados con el tema y se extrajeron términos técnicos relevantes para hacer más concreta la búsqueda en bases de datos científicas.

- Ventana de tiempo: Considerando los cambios de tecnología y los cambios en normatividad en el mundo en la última década con respecto a la producción de tablero aglomerado, se fija una ventana de tiempo para la realización de la búsqueda, iniciando en el año 2014, extendiéndose hasta la fecha actual de la revisión.

- Términos de exclusión: En una primera búsqueda se encuentran más de 10.000 artículos relacionados en las bases de datos, por lo cual se realiza una exclusión con términos específicos para delimitar el proceso.

2.1.1 Ecuación de búsqueda.

Se definieron dos bases de datos para la realización de la investigación, Escopus y Elsevier, las cuales tienen un reconocimiento dentro de la comunidad científica. Se analizaron diferentes conceptos que se extrajeron de la exploración de conceptos y se elaboró una ecuación de búsqueda para cada base de datos, y para el sistema Google académico en internet.

- Escopus: *wood OR mdp OR medium AND density AND fiberboard AND process OR transformation OR recycling-technologies AND waste AND recycle OR reuse OR waste AND melamine OR resin OR formaldehyde AND NOT plastic AND NOT polymer AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2014) AND (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Particle Board ") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Formaldehyde ") OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "process ")*

Con esta ecuación se obtuvo como resultado 71 artículos relacionados, teniendo en cuenta la delimitación de cuatro años.

- Elsevier: *wood OR mdp OR medium AND density AND fiberboard AND process OR transformation OR recycling-technologies AND waste AND recycle OR reuse OR waste AND melamine OR resin OR formaldehyde) AND LIMIT-TO (yearnav, "2018,2017,2016,2015") NOT Polymer*

Con esta ecuación se obtuvo como resultado 248 artículos relacionados con el tema.

- Google y Google Académico: *Wood OR particleboard AND fiberboard AND process OR transformation OR recycling AND technologies AND waste AND recycle OR reuse OR waste AND melamine OR resin OR formaldehyde "waste" "Particle Board" -"plastic"-"footprint"*

Con esta ecuación se obtuvo un resultado de 212 artículos relacionados con el tema.

2.1.2 Selección detallada.

Se realizó una selección detallada de la siguiente manera: se realizó la lectura de los títulos para establecer la pertinencia del tema, se excluyeron 400 artículos que no se consideraron pertinentes. Seguidamente, se realizó la lectura del resumen de cada artículo para identificar la relación directa con el tema de investigación, para obtener un total de 70 artículos. Se realizó la lectura completa de los 31 trabajos identificados.

En la tabla No 1. Se muestra el listado de artículos encontrados y seleccionados de la base de datos Scopus. En la Tabla No. 02, se listan los trabajos que superaron el proceso de selección y cuya fuente fue la base de datos ELSEVIER. En la tabla No. 03, Se listan los trabajos encontrados en Google Academic, cada uno con su número de identificación DOI.

Tabla 1

Filtrado de artículos por tema base de datos SCOPUS.

ARTÍCULOS SCOPUS	NUMERO DOI
<i>Biodegradabilidad y comportamiento de desecho de materiales de construcción industriales a base de madera</i>	DOI: 10.1038/sj.jim.2900808
<i>Impacts of urea-formaldehyde resin residue on recycling and reconstitution of wood-based panel</i>	DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2017.06.019
<i>Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards Part I. Preparation and characterization of wood chips in terms of their reuse</i>	ISSN: 13364561
<i>Investigation of the interrelations between defibration conditions, fiber size and medium-density fiberboard (MDF) properties</i>	DOI: 10.1007/s00107-016-1094-2
<i>Life cycle assessment of medium-density fiberboard (MDF) manufacturing process in Brazil</i>	DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.10.007
<i>Life cycle inventory of particleboard: A case study in the wood sector</i>	DOI: 10.1065/lca2005.05.206
<i>Evaluation of carbonized medium-density fiberboard for electrical applications</i>	DOI: 10.1016/S0008-6223(01)00299-8
<i>Effects of core layer fiber size and face-to-core layer ratio on the properties of three-layered fiberboard</i>	DOI: 10.15376/biores.12.4.7964-7974
<i>Environmental profile analysis of mdf panels production: Study in a Brazilian technological condition</i>	DOI: 10.1590/01047760201420031619

Activated carbon from co-pyrolysis of particle board and melamine (urea) formaldehyde resin: A techno-economic evaluation DOI: 10.1016/j.cej.2011.06.071

Tabla 2

Filtrado de artículos de investigación por tema base de datos ELSEVIER.

ARTÍCULOS ELSEVIER	NUMERO DOI
<i>State-of-the-art of waste wood supply chain in Germany and selected European countries</i>	doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.025
<i>Energy and climate impact assessment of waste wood recovery in Switzerland</i>	https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.09.009
<i>Value-added recycling of construction waste wood into noise and thermal insulating cement-bonded particleboards</i>	https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.053
<i>Reducing the environmental footprint of interior wood doors in non-residential buildings e part 2: ecodesign</i>	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.068
<i>Waste generation and utilization in micro-sized furniture-manufacturing enterprises in Turkey</i>	https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.028
<i>Oxygen- and nitrogen-co-doped activated carbon from waste particleboard for potential application in high-performance capacitance</i>	https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.02.147
<i>The combined effects of temperature and humidity on initial emittable formaldehyde concentration of a medium-density fiberboard</i>	https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.024
<i>Analysis of the global warming potential for wood waste recycling systems</i>	2236/10.1016/j.jclepro.2014.01.039
<i>Composting and bioremediation process evaluation of wood waste materials generated from the construction and demolition industry</i>	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.01.031
<i>Materials selection for sustainable product design: a case study of wood based furniture eco-design</i>	https://doi.org/10.1016/j.matdes.2003.09.018

Tabla 3

Filtrado datos por tema en GOOGLE.

ARTÍCULOS GOOGLE	PÁGINAS
<i>Experimental studies on producer gas generation from wood waste in a downdraft biomass gasifier</i>	https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.01.024
<i>Hydrogen-rich synthesis gas production from waste wood via gasification and reforming technology for fuel cell application</i>	https://doi.org/10.1007/s10163-005-0138-1
<i>System for making synthetic wood products from recycled materials</i>	https://www.google.com/patents/US5088910

<i>Application of a CCA-treated wood waste decontamination process to other copper-based preservative-treated wood after disposal</i>	https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.094
<i>Process for the production of lightweight cellular composites of wood waste and thermoplastic polymers</i>	https://www.google.com/patents/US5866641
<i>Composting and bioremediation process evaluation of wood waste materials generated from the construction and demolition industry</i>	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.01.031
<i>System and process for making synthetic wood products from recycled materials</i>	https://www.google.com/patents/US5096046
<i>Activated Carbon Produced from Waste Wood Pallets: Adsorption of Three Classes of Dyes</i>	https://doi.org/10.1007/s11270-007-9404-2
<i>Australian national greenhouse accounts</i>	ISBN 978-1-922003-31-7 (print), 978-1-922003-32-4 (pdf)
Europa marca en un 30% el objetivo de reciclaje de los envases de madera para 2030 Las astillas, un combustible respetuoso con el medio ambiente	https://madera-sostenible.com/transporte/europa-marca-30-objetivo-reciclaje-los-envases-madera-2030/

2.2 Listado de procesos y tecnologías utilizadas para la transformación de láminas de madera en el mundo.

La información recolectada a través de los artículos de investigación y la búsqueda en Google, permite analizar en la literatura propiedades de las láminas, composición físico-química, tecnologías y procesos utilizados alrededor del mundo para la transformación de material residual de láminas de madera procesada., como se puede observar en la recopilación de datos en la tabla 4.

Tabla 4

Filtrado de información relevante en búsqueda base de datos Scopus, Elsevier y Google.

BASE DE

DATOS

INFORMACION RELEVANTE

SCOPUS

(Barkoula,	Paneles de madera y plástico utilizando un método de fusión / mezcla en caliente.
Alcock,	
Cabrera, &	Los paneles de madera y plástico se fabricaron con polietileno de alta densidad (como resina) y desechos de MDF y PB (como fibras naturales) a 60, 70 y 80% en peso de cargas

Peijs, 2008)	de fibra.
	Las fibras de madera se mezclan con alrededor del 10% de resina de formaldehído de urea, que es termo-endurecible. Por lo tanto, se produce una placa densamente consolidada en la que las superficies contienen resina curada.
	Harina de MDF y PB secada al horno con un contenido de húmeda de menos del 3% y se pesaron gránulos de plástico para cada formulación y se mezclaron en un extrusor de tornillo doble de engranaje contra rotante de laboratorio a 1708°C. El proceso de mezcla tomó 5 minutos en promedio. Los materiales compuestos se peletizaron y se secaron a 1058°C durante 24h antes de la fabricación del panel.
(Benthien, Heldner, & Ohlmeyer, 2017)	Las condiciones de des-fibración y materia prima afectan a las características de la fibra de madera y, por lo tanto, a las propiedades de los paneles basados en fibra, como el tablero de fibra de alta densidad (HDF), el tablero de fibra de densidad media (MDF) y el tablero de fibra de madera. Con una participación del 23% (11,7 millones de m3) de la producción europea de paneles de madera (51,1 millones de m3) en 2010 (excluyendo Rusia y Turquía), el panel de fibras de densidad media (MDF) es el segundo panel de madera más importante después de tablero de partículas. En consecuencia, los parámetros del proceso de desfibración determinan la calidad de la fibra lograda. Además del prensado en caliente y la cantidad y tipo de resina utilizado, la calidad de la fibra (tamaño y morfología de la fibra, características de la superficie, propiedades químicas, comportamientos mecánicos) es la variable más importante que afecta el proceso de fabricación y las propiedades del panel. Se centraron en el desarrollo de métodos de fraccionamiento de fibra seca.
(Ihnát, Lübke, Russ, & Borůvka, 2017)	El reciclaje de desechos de madera es difícil debido al contenido de químicos nocivos contenidos en el pegamento utilizado durante un proceso de fabricación (Risholm-Sundman y Vestin 2005) y en aditivos que originalmente sirvieron para protegerlo del contenido de humedad, hongos que se descomponen, para aumentar el fuego resistencia (Erbreich 2004). Estos materiales se han producido utilizando adhesivos que contienen nitratos (urea, melamina), que en la combustión crean compuestos tóxicos de nitrógeno NOX (Salinger 1989, Marutzky 1997). El requisito normativo de RS por lo tanto prescribe el método específico de la combustión (Ley No. 79/2015 Coll). El formaldehído utilizado para la condensación de resina se libera gradualmente de los

tableros durante su vida útil.

Solo la cantidad de formaldehído incluida en los tableros aglomerados de residuos reduce significativamente la posibilidad de su reciclado. Por lo tanto, los métodos de reciclaje actualmente utilizados se basan en una reducción máxima de formaldehído en las virutas recicladas.

La hidrólisis de los adhesivos y el colapso asociado de las partículas de madera son causados por el vapor de agua. El método se lleva a cabo en una cámara de vapor bajo la presión de 0.1 - 0.5 MPa durante 0.5 a 4 horas. Las virutas producidas, de color marrón, se ven seriamente dañadas por la acción de la temperatura y la presión. Las partículas resultantes pueden usarse para capas intermedias de tableros de partículas en una cantidad que depende del nivel de formaldehído residual. Pero se deben agregar chips frescos para producir tableros de partículas con propiedades aceptables.

El material aglomerado de madera residual se tritura en condiciones secas en pequeños fragmentos que posteriormente se tratan usando vapor con 120-180 ° C a una presión de 0,2 a 1,1 MPa en la patente DE4224629 (1994). Los chips creados por el colapso de pequeños fragmentos están muy dañados por el estrés mecánico y la alta temperatura.

(Kercher & Nagle, 2002) Estos separadores funcionan como el componente estructural, el colector de corriente eléctrica y, en algunos diseños, para almacenar agua para mantener húmeda la membrana del polímero. Han demostrado y patentado un lento proceso de carbonización para convertir los materiales de madera en carboncillos monolíticos, porosos y sin grietas, que han sido denominados 'maderas carbonizadas'.

por ejemplo: electrodos de baterías de iones de litio y separadores de células de combustible.

(Peltola, Juhanoja, & Salkinoja-Salonen, 2000) Los contrachapados se degradaron más fácilmente en condiciones aeróbicas y anaeróbicas. Los microbios atacaron principalmente al S2 capa de los contrachapados y comenzó a partir de la capa S3 de las células de madera de conglomerado en el compost. Extensas cavidades, ocupadas con microbios, fueron observadas por microscopía electrónica en las capas de madera en descomposición, tableros de partículas y laminados.

No hubo toxicidad para fotobacterias o sustancias de preocupación ambiental en la biodegradación y residuos de incineración de los materiales probados.

Pero cuando se estudia la madera procesada industrialmente, el interés generalmente se centra en mejorar su resistencia al ataque microbiano. Hasta el momento, se ha demostrado que las bacterias y los hongos de pudrición blanda degradan la madera tratada con cobre-cromo-arseniato (CCA). Informaron la pérdida de peso de los tableros de resina de

melamina y fenol formaldehído tras la exposición a hongos de podredumbre blanca. La degradación bacteriana de sustancias lignocelulósicas en condiciones aeróbicas se ha estudiado ampliamente. Se pueden distinguir tres tipos de descomposición causados por bacterias de acuerdo con observaciones microscópicas: erosión, tunelización y cavitación

Concluimos que el contrachapado liso, el contrachapado superpuesto fenólico y la película de superficie fenólica eran moderadamente biodegradables aeróbicamente, mientras que el aglomerado, los laminados, el polímero de almidón de alcohol polivinílico, PVC y HD-PE se biodegradaron lenta o mal.

Rendimiento de biomineralización aeróbica y anaeróbica de madera contrachapada lisa eran casi dos veces más altas que las obtenidas de la madera contrachapada recubierta con película de superficie fenólica, incluso cuando se excluyó el peso de la película superficial fenólica. Así, la superposición de contrachapado aumentó la resistencia a la biodegradación tanto en entornos aeróbicos como anaeróbicos

La película de superficie fenólica perdió el 17% de su peso en 154 días. El aglomerado perdió 10% de su peso similar a la madera contrachapada (12%) en 365 días.

Tablero aglomerado, contrachapado liso y superpuesto, superficie fenólica la película y los laminados se biodegradaron al menos en cierta medida en condiciones aeróbicas.

El aglomerado se degrada en el compost ligeramente mejor (10% por año) que en las pruebas de laboratorio, pero el contrachapado se degradó mejor en las pruebas de biodegradación de laboratorio que en la compilación. El compostaje puede reflejar mejor las condiciones imperantes en el manejo de desechos que las pruebas de mineralización estandarizadas para el laboratorio.

(Piekarski, de Francisco, da Luz, Kovalski, & Silva, 2017) Se requiere un total de 280.5 kWh de energía eléctrica para producir 1.0m³ de panel. Para generar la energía térmica necesaria para producir MDF, se requieren 167,6 kg de leña y 17,4 m³ de gas natural (el 23% del gas total es consumido por la planta térmica I y el 77% suministra la planta térmica II). La planta termal I produce alrededor del 80% de la energía térmica demandada, de la cual el 52.67% se usó para secar fibras y el 26.61% para generar el vapor usado para el proceso de digestión de chips. La Central Térmica II, por otro lado, produce el 20,72% de la energía térmica para calentar el aceite térmico utilizado para presionar el panel de MDF.

El sistema G2G fue el principal contribuyente a la toxicología cancerosa impactos en la salud humana, que está fuertemente influenciado por las emisiones de aire de formaldehído libre en el sitio durante el proceso de prensado de MDF. El formaldehído libre se emite desde la cura de la resina de urea-formaldehído. La emisión de formaldehído libre

correspondió al 60.0% del total

Por último, la producción de resina UF representó el 10% del total de Human Toxicity impactos (20% para efectos cancerosos y 80% para efectos no cancerosos). Los principales contribuyentes fueron la producción de dos materias primas clave, urea (46.2% de los impactos) y metanol con 41.5% de los impactos de TH, respectivamente.

El primero es que la composición de la resina de UF es básicamente de origen fósil, especialmente urea y metanol, actualmente obtenida de la reacción del gas de síntesis con fuentes fósiles, y en el proceso de fabricación de paneles de MD, la reacción de curado ocurre a altas temperaturas (más de 150 ° C), y como resultado hay liberaciones de formaldehído libre en el aire. Más allá de las liberaciones aerotransportadas de formaldehído durante la producción de paneles de madera, explican que el formaldehído también se emite desde otras dos fuentes: (1) durante la fabricación de resina por reacción de condensación, y (2) a partir de formaldehído residual en la resina.

Ocho categorías de impactos fueron analizadas (por sus siglas en inglés): acidification (AC), global warming (GW), eutrophication (EU), ecotoxicity (ET), photo- chemical formation of tropospheric ozone (PFTO), human toxicity (HT), abiotic resource depletion (AD), and ozone depletion (OD).

(Zhong, Gu, Gao, Tu, & Hu, 2017)

Si bien el llenado de tierra y la combustión directa tienen un impacto negativo en el medio ambiente, la pirólisis para la producción de energía y la reconstitución de paneles usados en nuevos productos son relativamente benignos desde el punto de vista ambiental. Recientemente, los materiales de valor agregado, como el carbón activado, compuestos plásticos de madera y nanocristales de celulosa, se han producido a partir de paneles de madera reciclados. Se han desarrollado varios métodos para reconstituir tableros de partículas (PB) y tableros de fibra de densidad media (MDF) en paneles nuevos usando métodos hidrotérmicos químico, mecánicos o su combinación. Los materiales reciclados se pueden unir con resina de urea-formaldehído (UF) o resina de fenol-formaldehído (PF) usando técnicas convencionales para fabricar paneles a base de madera

Los residuos de resina UF, aunque probablemente en una forma disfuncional, permanecen inevitablemente en la mayoría de los materiales basados en madera reciclada incluso después del tratamiento hidrotérmico, químico o mecánico debido a sus amplias aplicaciones y estabilidad relativa

las partículas de UF previamente curadas no fueron capaces de fusionarse con la nueva resina de UF. Las resinas de UF son termoestables y los enlaces químicos previamente formados en las partículas fueron difíciles de romper y reformar durante el segundo proceso de curado.

Todos estos resultados indicaron que la adición de resinas previamente curadas tuvo poco impacto en la estructura química de todo el sistema adhesivo. Ni el tamaño de partícula ni los tiempos de reciclaje tuvieron ningún efecto obvio

Tabla 4. (Continuación).

ELSERVIER

(Bovea & Vidal, 2004)	El porcentaje de madera reciclada es del 90% en el tablero de partículas y del 10% en el tablero de fibra. La diferencia de densidad (650 kg / m ³ en el tablero de partículas y 850 kg / m ³ en el tablero de fibra tiene consecuencias para el consumo de energía durante el proceso de fabricación de la placa
	Las emisiones atmosféricas más importantes causadas por la fabricación del laminado se deben a la generación de calor para el secado y la polimerización de la resina. Los efluentes de agua se deben principalmente a la limpieza del equipo de unión, y los residuos sólidos generados se componen básicamente de restos de papel, que pueden o no estar impregnados con resina, y el embalaje sobrante de los productos químicos utilizados
	Las entradas del proceso son resinas, aditivos, agua, papel, lubricantes, combustibles y electricidad. Y como salidas se tienen emisiones de aire, emisiones de agua y residuos sólidos contaminantes.
	Con respecto a las tablas a base de madera, el tablero de partículas estándar tiene un impacto ambiental más bajo que el tablero de fibra estándar (0.441 y 1.580 Pt / F.U., respectivamente). El tablero de partículas con bajo contenido en formaldehído es preferible al estándar (0.379 y 0.441 Pt / F.U., respectivamente) debido al reemplazo parcial de la resina UF por la resina MF. La etapa de adquisición de materia prima es la que más contribuye al impacto total (72-87% dependiendo del material). Se necesitan procesos adicionales como corte y mecanizado para transformar la placa para su incorporación a los muebles finales, aumentando el impacto ambiental alrededor de 0.033 Pt / m ² .
(Cobut, Blanchet, & Beauregard, 2013)	Con respecto a los revestimientos de superficies y bordes, desde el punto de vista ambiental, el laminado de baja densidad es preferible al laminado de alta densidad (0.076 y 0.119 Pt / m ² , respectivamente).
	Muestra que solo los taninos de pino reducirían los impactos ambientales en cada categoría de daño Una reutilización del conjunto central permitió ahorrar al menos el 25% de la puntuación original, independientemente de la categoría de daño. La re-fabricación podría ser una

	opción a corto plazo sin la necesidad de nuevas tecnologías ni de nuevos proveedores. Sin embargo, sí requiere el desarrollo de sistemas y servicios retro-logísticos
(Garcia & Hora, 2017)	Desperdicio de madera, ya que es la única categoría que puede usarse directamente para propósitos materiales y energéticos sin un pre tratamiento previo. Actualmente, la mayor parte de esta madera residual se utiliza para la producción de energía directa debido a la legislación gubernamental anterior que promovió su uso directamente en las instalaciones de incineración. En UK se usan técnicas de biorremediación y compostaje para desviar los residuos
(McMahon et al., 2008)	Se prepararon tres mezclas de compost mezclando tableros de chips triturados, fibras de densidad media, tableros duros y melamina. El abono de aves de corral, la mezcla de Eco-Bio y los residuos verdes se usaron como suplementos nutricionales. Los resultados revelaron que el compost producido a partir de mezclas de estiércol de aves de corral y desechos verdes utilizados como suplementos nutricionales mejoró el rendimiento en los ensayos de crecimiento de plantas (pruebas de fitotoxicidad).

Tabla 4. (Continuación).

GOOGLE

(Antonio, Lahr, Junior, & Fiorelli, 2015)	Las principales ventajas de usar madera de eucalipto en la producción de Los paneles de MDF se relacionan con (i) menor ciclo de corte y rotación de árboles de plantaciones de eucalipto y, en consecuencia, retorno de capital invertido, (ii) mayor densidad de madera, lo que resulta en un mayor rendimiento en términos de volumen relativo de madera / panel, (iii) uso de madera y corteza (uso completo de los troncos); para los pinos, la corteza debe ser eliminada, (iv) la madera consiste en fibras más cortas que proporcionan una mejor calidad posterior al mecanizado. las fibras de eucalipto se secaron en un horno (2 - 3% de humedad) se separó en muestras y se transfirió al tambor giratorio y se mezcló durante 2 minutos, seguido del período del lote con la adición de resina y cera a través de boquillas con aire comprimido El efecto principal del tratamiento con álcali es la desfibrilación o la rotura de los haces de fibras en fibras más pequeñas El proceso comprende el tratamiento alcalino de las fibras con solución de NaOH la solución, lo que provoca una disminución en el grado de agregación de las fibras, lo que conduce a una mejor interacción en la interfaz de fibra / resina. El comportamiento de las fibras vegetales sometidas a procesos alcalinos depende principalmente de las condiciones de tratamiento (concentración, tiempo y temperatura). Se basaron en el modelo e inventario de García y Freire (2012) y se enfocaron en evaluar la huella de carbono de tableros de partículas comparando diferentes metodologías (ISO / TS 14067, Estándar de
--	--

Producto de Protocolo de GHG, PAS 2050: 2011 y Declaración Climática) Para las siguientes secciones, solo los resultados de cradle-to-gate

En comparación con la madera, el panel de residuos de madera tiene un comportamiento diferente en pirólisis. Puede producir más productos nitrogenados en la pirólisis debido a la presencia de adhesivo.

Algunos estudios sobre el comportamiento de la pirólisis de la resina muestran que el proceso de pirólisis del residuo de resina de urea-formaldehído podría subdividirse en tres etapas: secado de la muestra, descomposición térmica rápida y posterior proceso de craqueo.

Los líquidos de pirólisis de MDF son ligeramente alcalinos debido a la existencia de compuestos que contienen nitrógeno (Mu et al., 2011). Los líquidos se pueden usar como solventes básicos y aditivos en pesticidas y en muchas otras formas. Un estudio sobre características y bioeficiencia de los líquidos de pirólisis de la madera, tableros de partículas, contrachapados y tableros de fibra muestra que la inhibición de estos líquidos sobre los hongos es diferente debido a la diferente composición (Nakai et al., 2007).

**(Chen, Li,
Mu, & Feng,
2015)**

El presente trabajo muestra que los carbones activados derivados de tableros de partículas son adsorbentes eficientes para la eliminación de fenol de soluciones acuosas con capacidades medidas máximas cercanas a 500 mg.g-1. Dado el costo extremadamente bajo de los carbones activados preparados a partir de desechos de tableros de partículas, no debería ser un problema usarlo en cantidades mayores que los materiales comerciales (Girods et al., 2009b).

La tasa de degradación del MDP fue mayor que la de la fibra de madera, que se debe principalmente a la influencia de la resina UF.

La composición del gas del MDF y la fibra de madera son similares, pero el volumen de productos de gas del MDF es más que el de la fibra de madera.

**(Jin, Zhang,
Wu, Zhang,
& Mu, 2013)**

Los átomos de nitrógeno del MDF residual se originan del adhesivo de resina de urea-formaldehído utilizado en el proceso de fabricación de MDF

Se prepararon cuatro tipos de residuos basados en MDF utilizando la activación de carbonato de potasio (K_2CO_3).

Los materiales de electrodos enriquecidos en N para supercondensadores se prepararon a partir de una base de fibra de densidad media mediante la activación de K_2CO_3 . Se exploraron los efectos de las propiedades físicas y la composición química de residuos de AC basadas en MDF sobre el rendimiento electroquímico

**(Kitek
Kuzman &
Kutnar, 2014)**

La combinación de una planta de producción de OSB con una biorrefinería para la producción de ácido acético y metanol se ha estudiado recientemente desde una perspectiva de LCA [11]. Se registraron reducciones significativas en el potencial de toxicidad humana y el potencial de ecotoxicidad de agua dulce para la planta combinada en comparación con un proceso de producción de OSB convencional. Además, se ha demostrado que cantidades crecientes de madera reciclada pueden reducir la huella ambiental asociada con la producción de tableros de partículas

	La madera tiene una huella negativa debido al dióxido de carbono fijado por el árbol vivo original. Las emisiones asociadas con la cosecha, el transporte y el procesamiento de productos de madera aserrada son pequeñas en comparación con la cantidad total de carbono almacenado en la madera. Esto significa que incluso cuando se toma en cuenta el uso de energía para la cosecha, el transporte y el procesamiento, la madera aserrada todavía tiene una huella negativa.
(Leungprasert & Otten, n.d.)	El formaldehído es degradable bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en medios acuosos y de suelo, En las aguas residuales industriales, el formaldehído puede degradarse en condiciones aeróbicas ninguna investigación ha estudiado la biodegradación del formaldehído contenido en una matriz sólida, como sería el caso en el compostaje de residuos de MDF. estudió la biodegradación del formaldehído en el suelo. Por ejemplo, Mohn (1 997) estudió la biodegradación del polímero de urea formaldehído que se utiliza como sorbente para la contención y limpieza de hidrocarburos. Los resultados mostraron que la degradación del polímero de urea formaldehído era muy lenta e incompleta la degradación de formaldehído y la descomposición de urea-formaldehído se realizarán mediante el uso de una etiqueta radiactiva de carbono-14. Esta técnica se usa ampliamente para determinar la transformación y biodegradación del carbono orgánico y podría ser apropiado determinar la tasa de biodegradación del formaldehído.
(Mantanis et al., n.d.)	En ciertos países europeos (por ejemplo, Alemania), el despliegue de muebles usados en los vertederos estará prohibido a principios de 2005, ya que la interacción entre los materiales orgánicos y el medio ambiente es de naturaleza muy compleja. Los productos químicos lixiviados pueden influir en las aguas subterráneas y, además, la degradación biológica conduce a la formación de metano, que contribuye al efecto invernadero 80 veces más que el dióxido de carbono. Permitir sustituir la alimentación de madera fresca por desechos de madera en niveles altos (> 20%) sin una reducción de la productividad de la planta de MDF. En general, se puede observar que incluso con un nivel de sustitución del 25% de la madera y sin un cambio en el ciclo de prensa y la productividad, el nuevo proceso puede dar como resultado tableros MDF "reciclados" con propiedades que cumplen con los estándares europeos. También se debe mencionar que la emisión de formaldehído del MDF disminuyó con la adición de los desechos (los tableros encajaron en la clase de emisión de formaldehído E2 (clase perforante) ya que se aplicó una resina UF del tipo E2). Los resultados preliminares han sido muy alentadores a ese respecto. Notablemente, otro objetivo principal es utilizar como materiales de partida, no solo residuos de MDF en bruto, sino también MDF o tableros de partículas laminados y / o chapeados (ya probados con resultados satisfactorios).
(Network, 2008)	Las resinas de urea con formaldehído se pueden mezclar directamente con aditivos llamados buscadores, que se unen con la urea formaldehído para reducir las emisiones. La melamina y la hexamina son los agregados más comunes. El formaldehído de fenol se ha utilizado durante mucho tiempo en productos de madera compuesta

diseñados para uso exterior debido a su mayor resistencia al agua que la urea formaldehído.

El fenol formaldehído produce un 90% menos de emisiones de formaldehído que la urea formaldehído.

2.2.1 Casos de uso de tecnologías en el mundo.

Se realizó un mapeo de casos a nivel mundial para encontrar las posibilidades de transformación de material que se están realizando y tienen resultados positivos dentro del sector de la madera. Se encontraron 6 casos internacionales con diferentes formas de tecnologías aplicadas como se puede ver a continuación:

- **Caso 1 Pyrolysis Pacific – Australia:** La pirolisis ha sido uno de los procesos más estudiados y con mayor efectividad en países como Australia, Canadá y Reino Unido, los cuales están en la creación de compañías que permitirán a los municipios de todo el mundo comenzar a convertir la basura en biocombustible más limpio. La tecnología ahora puede convertir desechos de biomasa como papel, pasto o astillas de madera en gas y eventualmente etanol. Los procesos de conversión también usan mucha menos agua y tienen una huella de carbono menor que la producción tradicional de etanol.(Pyrolysis, 2010) La tecnología de pirólisis lenta de “Pyrolysis Pacific” y los ensayos de modificación del suelo obtuvieron el máximo reconocimiento en los Premios del Día Mundial del Medio Ambiente de la Asociación de las Naciones Unidas de Australia 2007.

La tecnología de PacPyro proporciona importantes beneficios de recuperación de recursos con muchas materias primas, además del crédito de emisiones potenciales de la eliminación de vertederos. La tecnología también puede lograr una reducción de volumen significativa de materiales de desecho problemáticos (70-90% de reducción en el material en función del peso de la tonelada mojada)

Pacific Pyrolysis tiene una instalación de demostración piloto de pirolisis lenta de flujo continuo operacional, llamada PyroChar 300, en la instalación de ingeniería avanzada de Somersby al norte de Sydney. La instalación piloto de demostración tiene una capacidad de aproximadamente 300 kg / h (base seca) de material de biomasa y es capaz de alimentar un generador eléctrico de 200 kW que está integrado en el sitio. La instalación PyroChar 300 se ha utilizado para producir cantidades de la modificación del suelo Agrichar TM para programas de investigación desde 2006 y cuenta con un conjunto de registros de ejecución totalmente documentados que datan de esta época.

- Caso 2 Recovery – Reino Unido: MDF Recovery, una empresa del Reino Unido permite la recuperación de fibra de madera de alta calidad a partir de MDF de desecho. Produce fibras de madera en el rango de 0.5 mm - 3 mm; la misma alta calidad que la fibra de madera virgen. Hay más de 40 años de producción de MDF integrados en productos y edificios y más de 75 millones de toneladas de productos nuevos que se fabrican cada año. Este material debe manejarse de manera sostenible. (Recovery, 2017)

La tecnología de MDF Recovery ofrece un proceso comercialmente viable para recuperar madera de MDF usados o no. Es la primera alternativa al vertido o incineración de MDF y permite que la fibra recuperada se reintegre a la producción de tableros de fibra o se utilice para la fabricación de productos de aislamiento térmico de alta calidad.

En el proceso manejan hidrólisis y acción físicas trabajando juntas. Esto permite acelerar rápidamente el proceso de degradación del enlace de resina. No se agrega ningún producto químico en el proceso aparte de una pequeña cantidad de sal para ayudar a la conductividad, en caso de que las condiciones locales del agua lo exijan.

- Caso 3 BioComposites – Reino Unido: En Reino Unido, el BioComposites Center se asoció con la Asociación de Investigación de la Industria del Mueble del Reino Unido (FIRA) y C-Tech Innovation para estudiar el desarrollo de un proceso para reciclar MDF de desechos en nuevos paneles de MDF. Concluyeron que es posible reciclar MDF de desechos en MDF "nuevo" utilizando tecnología de microondas para reprocesar las fibras; la clave fue el procesamiento continuo que no dañó las fibras.

Al comparar las características físicas del MDF residual con las reservas de otros sectores, se cree que los beneficios del calentamiento óhmico (alta eficiencia energética, perfil de calentamiento homogéneo, operación segura) podrían aplicarse al problema del reciclaje de MDF. Las pistas sobre cómo descomponer eficazmente el MDF provienen de la industria alimentaria, donde el calentamiento óhmico se ha desarrollado con éxito desde la década de 1990 para el calentamiento de lodos y suspensiones acuosas.(Panel, 2012)

El calentamiento óhmico utiliza una corriente eléctrica, que pasa directamente a través del cuerpo del material, para provocar un calentamiento rápido y uniforme sin el uso de superficies calientes de transferencia de calor. (C-tech, 2018)

El reciclado de MDF se logra remojando las piezas de MDF pre-triturados dentro de un medio líquido y luego calentando a alrededor de 90 ° C. A esta temperatura, la resina de unión se hidroliza, liberando las fibras de madera para una recuperación y reutilización efectivas. Una vez que el MDF se vuelven húmedos, la corriente eléctrica puede fluir a través de ellos, causando que se calienten mucho más rápidamente de lo que ocurriría a través de la conducción de calor normal. Además, la temperatura dentro de las partículas puede elevarse por encima de 100 ° C, haciendo que el MDF se divida y expanda, permitiendo un ingreso más rápido de agua y la tasa

de hidrólisis para aumentar. Esto conduce a una alta tasa de procesamiento con un uso de agua mínimo y una alta eficiencia.(Panel, 2012)

- Caso 4 Sonae Industria – Portugal: Los paneles de madera que genera la empresa de Portugal, SONAE Group, Sonae Industria cuando se usa con fines de construcción, a base de madera los paneles funcionan como depósitos de carbono, lo que ayuda para mitigar las emisiones de CO₂. Al final de su vida útil, paneles de madera pueden reciclarse y transformarse en nuevos productos, de esta manera reingresar a un proceso de reciclaje. (Industria, 2016)

- Caso 5 Hidrólisis – Corea: En Corea, en el 2017, investigadores patentan un método para eliminar el adhesivo contenido en la placa de fibra, un método para eliminarlo, y se refiere a un método que puede reciclar el tablero. La molienda mecánica, la hidrólisis térmica y la pulpa química trituradas (Karazipour y Kues 2007) han sido algunas tecnologías desarrolladas. La patente demuestra la posibilidad de resolver los problemas del MDF, con una etapa donde se tritura la placa de fibra que contiene un adhesivo; etapa de hidrolizar el aglutinante mediante tratamiento con una solución ácida para la placa de fibra, el nitrógeno de la placa de fibra pasa a través de la etapa para eliminar 94 a 99%; y recuperar la fase sólida, separando el producto en una fase líquida y en una fase sólida. Proporciona un método para eliminar el adhesivo.(Park Byeong-Dae, 2016).

- Caso 6 Tecnología en Colombia: Un caso relevante es la empresa Primadera, quienes realizan la Fabricación de tablero aglomerado, que son paneles formados por virutas o partículas encoladas con resinas sintéticas. Tiene como opción de materia prima la madera urbana o madera proveniente de reciclaje, por esto, es pionera en Colombia en el uso de madera reciclada, contribuyendo a la preservación del medio ambiente y generando un impacto social positivo. Primadera, en un trabajo en conjunto con las cooperativas de recicladores, creó un esquema para

recolectar la madera de los puntos de mayor producción de desechos, solucionando problemáticas de reciclaje y dándole un valor al material y entregando un certificado de uso a los originadores.(Primadera, 2016). Colocan contenedores con sistema ampliroll para la recolección de la madera y su posterior traslado a la planta. La madera es llevada a la planta en Bogotá para triturarla y dejarla en tamaños óptimos para el proceso, luego se envía a Gachancipá para procesarla en una línea especial de limpieza, que retira todos los contaminantes para entregarla al proceso en condiciones similares a las de la madera virgen.(TCC, 2018).

2.2.2 Resultado de la Búsqueda.

En este apartado se muestra una síntesis de los procesos identificados en los artículos y casos de estudio leídos. En la tabla 5, se relacionan los procesos de transformación de material con su respectiva descripción.

Tabla 5.
Listado de procesos y tecnologías.

Proceso	Descripción
Hidrolizar el aglutinante	Mediante tratamiento con una solución ácida para la placa de fibra de pulverización.
Método de fusión	Se realiza una mezcla en caliente, una molienda de material para realizar paneles de madera y plástico, sumando resinas formaldehidos.
Fraccionamiento de fibra	Se realiza un proceso fibra seca, con procesos de tamices.
Biodegradación de las virutas	Donde el MDF se utiliza como mantillo para el soporte estructural de suelos agrícolas
Etiqueta radiactiva de carbono-14	El formaldehido si se puede degradar y la descomposición de urea-formaldehído
Incineración	Países como Alemania lo utilizan para la generación de energía
Hidrólisis	Los adhesivos y el colapso asociado de las partículas de madera son causados por el vapor de agua. Donde el material aglomerado de madera residual se tritura en condiciones secas

	en pequeños fragmentos que posteriormente se tratan usando vapor.
Carbonización	convertir los materiales de madera en carbonillos monolíticos, porosos y sin grietas, que han sido denominados 'maderas carbonizadas'
Biomíneralización	
aeróbica y anaeróbica.	Haciendo uso de hongos y tres tipos de degradación, erosión, túneles y cavitación.
Pirólisis	Producción de energía y la reconstitución de paneles, donde se realiza un secado, una descomposición térmica y un craqueo. Para generar tres tipos de producto: carbón activo, compuestos plásticos de madera, nanocristales de celulosa. Donde el carbón activo tiene un bajo costo y grandes beneficios.
	Los líquidos en el proceso son alcalinos y se pueden utilizar como pesticidas.
Métodos hidrotérmicos, químicos, mecánicos o su combinación .	Realización de nuevos tableros con material reciclado.
Técnicas de biorremediación y compostaje	Se tritura el material y se mezcla con estiércol de aves de corral y residuos verdes.
Supercondensadores	Se utiliza el MDF para el rendimiento electroquímico.
Aditivos Buscadores	Se tritura el material y se mezcla con aditivos para reducir las emisiones del formaldehído.
Microondas o calentamiento óhmico,	Para reprocesar las fibras, corriente eléctrica, que pasa directamente a través del cuerpo del material, para provocar un calentamiento rápido y uniforme sin el uso de superficies calientes de transferencia de calor.

En la figura 4, se observa una síntesis gráfica de los procesos químicos usando en el mundo para la transformación de madera aglomerada, así mismo, en la figura 5, se observan los procesos físicos, entre los cuales se tiene el triturado, prensado en caliente, peletización, métodos hidrotérmicos y desfibración.

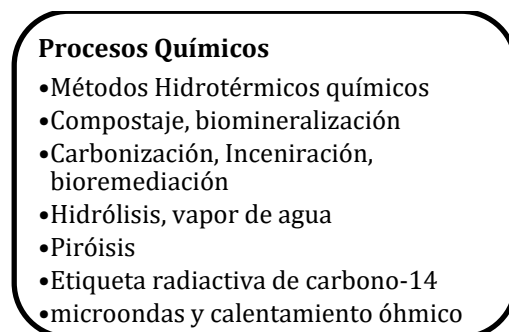


Figura 4. Listado de procesos químicos utilizados para el manejo de residuos sólidos aglomerados.

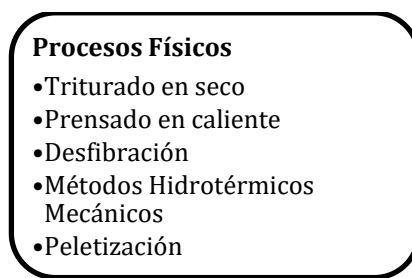


Figura 5. Listado de procesos Físicos utilizados para el manejo de residuos sólidos aglomerados.

2.3 Normatividad.

Se realizó una búsqueda de los documentos normativos para Colombia, que legisla aspectos Ambientales para la industria Nacional, y generan una serie de restricciones y aprobaciones para la ejecución y manejo de los residuos sólidos generados dentro de la empresa, así mismo, se tiene una normatividad interna creada por la empresa para controlar ciertos aspectos ambientales que se crean con la generación de residuos de madera aglomerada.

La política nacional de residuos sólidos se fundamenta, principalmente, en la constitución colombiana de 1991, la ley 99 de 1993, ley 192 de 1994, el decreto 1713 de 2002 y el documento CONPES 2750 del Ministerio del Medio Ambiente. Resolución 541 Diciembre 14 de 1994,

(Ambiente, Transporte, & Defensa, 2011): Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación. EL cual a su vez tiene resoluciones importantes como, (Rediba, 2016):

- No deben presentarse dispersiones o emisiones al aire de materiales; no deben mezclarse los materiales a que hace referencia esta Resolución con otro tipo de residuos sólidos, líquidos o gaseosos; y cuando los materiales almacenados sean susceptibles de producir emisiones atmosféricas, ya sean o no fugitivas, deberán cubrirse en su totalidad o almacenarse en recintos cerrados.
- Está prohibido la disposición final de los materiales y elementos a que se refiere esta resolución, en áreas de espacio público.
- La persona natural o jurídica, pública o privada que genere tales materiales y elementos debe asegurar su disposición final de acuerdo a la legislación sobre la materia.
- Está prohibido mezclar los materiales y elementos a que se refiere esta Resolución con otro tipo de residuos líquidos o peligrosos y basuras, entre otros.
- La disposición final de los materiales a que se refiere la presente Resolución podrá dar lugar al cobro de tarifas, las cuales serán fijadas por el respectivo Municipio de conformidad con la legislación vigente.
- Ley 09 de 1979, Medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos.
- Documento CONPES 2750 de 1994 Políticas sobre manejo de residuos sólidos.
- Decreto 605 de 1996 Reglamenta la ley 142 de 1994. En cuanto al manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos

- Decreto Reglamentario 2462 de 1989 Reglamenta los procedimientos sobre explotación de materiales de construcción. Norma técnica (Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, 2009)

Decreto 1784 de 2017, expedido por el Presidente de la República, Juan Manuel Santos, “El objetivo de este decreto es promover y facilitar la planificación, construcción y operación de rellenos sanitarios en el país y los procesos para el tratamiento de residuos sólidos” reglamentan las condiciones bajo las cuales se deberá desarrollar la actividad complementaria de tratamiento, usando tecnologías como la generación energética, el compostaje o el tratamiento mecánico biológico de los residuos.

El Decreto 1713 DE 2002, define que el Aprovechamiento es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos, (Del, Ambiente, Limpia, & Bogota, 1997).

Según la Cámara de Comercio en el en su Plan integral de desarrollo metropolitano de la ciudad de Bucaramanga, en el punto C3 de Infraestructura de servicios y conectividad metropolitana, determina una planeación para la transformación industrial de los residuos sólidos, donde se pretende Implementar alternativas de aprovechamiento integral de los residuos que permitan fortalecer los programas de reciclaje (con o sin separación en la fuente) y garantizar el uso y disposición final adecuada de los residuos sólidos domésticos, industriales y peligrosos generados en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga, migrando del

sistema tradicional a un modelo de gestión integral que garantice su sostenibilidad y minimice el impacto ambiental y económico para la comunidad. (Comercio, 2016)

La empresa Madecentro Colombia S.A.S., actualmente tiene normatividad institucional con respecto a estos residuos, entre las cuales tenemos:

- Los residuos de tamaños superiores a 30 x 30 cm deben ser entregados a los clientes en su totalidad.
- Los residuos que se generan por los refiles de material y cortes pequeños deben ser depositados en canecas para su posterior entrega a la empresa de aseo o recolectora de este producto de desecho.
- Este material no debe ser vendido o usado para lucro de los empleados.

2.4 Estado actual de la empresa Madecentro Colombia S.A.S.

MADECENTRO COLOMBIA S.A. es la compañía número uno en la comercialización de productos y servicios para el sector del mueble y la madera, con cubrimiento nacional, como se puede observar en la figura 6.

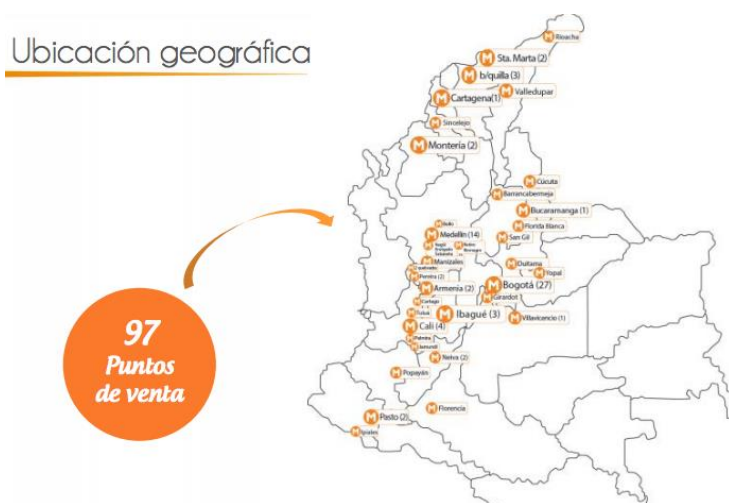


Figura 6. Puntos de venta Madecentro en Colombia, (Madecentro, 2017).

La compañía tiene un portafolio de aproximadamente de 5000 referencias, entre las cuales 2000 son herrajes, el restante de productos derivados de la madera y servicios para los sectores del mueble, la madera y la construcción. Tiene un aliado estratégico en Sudamérica llamado Novopan del Ecuador (Novopan, 2018), quienes son los principales proveedores de tableros aglomerados. Esta marca es característica por traer al país tableros con una ventaja competitiva, siendo el formato de 2.15 x 2.44 metros para mayor optimización y aprovechamiento. Madecentro es una empresa nacional con 112 puntos de venta al terminar el 2017. En el área metropolitana de Bucaramanga tienen 5 puntos. La empresa cuenta en cada punto de venta con una infraestructura que satisface las necesidades de los clientes, con maquinaria especializada, prestan el servicio de diseño, optimización de material, corte, enchape de cantos, perforaciones, ranurado, zunchado, piezas especiales y el transporte, para lo cual además tienen un personal capacitado en los procesos de ventas, diseñadores, entre otros. Como se ve el cuadro de flujo de procesos de la empresa Madecentro Colombia, figura 7.



Figura. 7 Procesos de producción Madecentro, (Madecentro, 2017).

La empresa vende aproximadamente en laminados de madera 300 millones mensuales para producir closets, cocinas, muebles de entretenimiento entre otros. Los tableros de madera son el producto líder, entre los cuales tenemos 6 principales tipos de tablero según su composición.

- Tablero de fibra de densidad media (MDF, del inglés *Medium Density Fiberboard*), fabricado a partir de fibra de madera y resinas sintéticas.
- Tablero de fibra de alta densidad (HDF, del inglés *High Density Fiberboard* o *Hardboard*), tablero de fibra de madera de alta densidad y bajo calibre con una densidad mayor a 0,8 g/cm³ y dos superficies duras, una de las cuales tiende a ser brillante y la otra corrugada.
- Tablero de partículas de densidad media (MDP, según sus siglas en ingles), fabricado en varios tamaños mediante prensado o extrusión; generalmente se fabrica a partir de virutas o partículas de madera procedentes de la reducción de trozas.
- Tablero de astillas o virutas orientadas (OSB, según sus siglas en ingles), fabricados con virutas, escamillas u plaquitas de pequeño diámetro, rollos de madera y aglomerados con un aglutinante exterior, mediante aplicación de calor y presión.
- Tablero contrachapado, comúnmente conocido con TRIPLEX, se obtiene mediante encolado de chapas de madera superpuestas de modo que sus fibras formen un ángulo determinado, generalmente recto. Normalmente están compuestos por chapas impares, con el fin de equilibrar su estructura y comportamiento, y facilitar su curvado, (Madecentro, 2017)
- Tablero de madera maciza, formado por listones de madera de longitudes iguales o diferentes, unidos entre sí por medio de un adhesivo, siendo el grosor y la anchura de los listones iguales dentro del mismo tablero. (Masisa, 2015)

Todos estos tableros comparten procesos similares de producción y sus componentes van adheridos entre sí por medio de resinas ureica, fenólica o melamínica, mediante un proceso de

tiempo, presión y temperatura. Dentro de Madecentro estos tableros y productos de madera tiene una cadena de procesos de manufactura para satisfacer el cliente, entre los cuales está el corte, la optimización y recolección de materia residuo, descritos en la Figura 8.

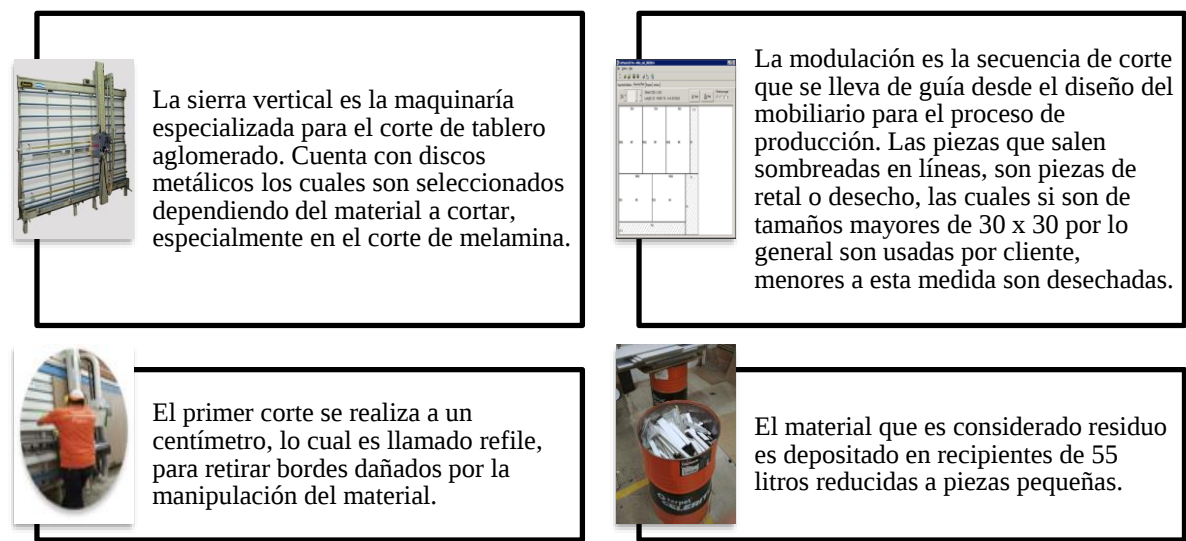


Figura 8. Procesos básicos de manufactura de un tablero aglomerado.

En la tabla 6, se especifican algunos aspectos detectados dentro de la empresa, en una visita de observación que se realiza a la empresa Madecentro, donde se determinan características sobre las clases de residuos, la población beneficiada y el acopio de los elementos de residuo.

Tabla 6
Aspectos detectados dentro de la empresa.

Proceso	Descripción
CLASE DE RESIDUO	- No se clasifica la madera residual después de realizado el corte de las láminas, se deposita todo en canecas. - El tamaño de los residuos es variado. - El personal no se encuentra capacitado para realizar separación en la fuente de

	residuos.
POBLACIÓN BENEFICIADA	• La empresa Madecentro por los costos mensuales que genera entregar el material a la empresa de aseo • Los vecinos de la empresa que se ven afectados por retal residual en la calle • La comunidad en general por la afectación ambiental que genera depositar este material en el centro de basuras municipal.
ACOPIO DE MATERIAL	• El material residual no tiene un espacio de acopio determinado y adecuado para la separación en la fuente.

La empresa de aseo de Bucaramanga cobra mensualmente a Madecentro Colombia S.A.S por la recolección autorizada de material de desecho, cumpliendo así con la norma y la disposición de desechos según la ley colombiana. Esto a su vez se replica en todos los puntos de venta del país, lo cual implica un costo mensual en gastos de disposición de material, figura 9. Viendo así la necesidad de generar dentro del proceso una buena gestión de residuos sólido, que puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento y evacuación de residuos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería, de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas (Licona, 2006).



Figura 9. Recolección de material de desecho de Madecentro por parte de la empresa Rediba de Bucaramanga.

Dentro de la empresa y el mercado se identifican requerimientos para el diseño de un proceso de adaptación tecnológica que suplan con los intereses comunes, de los cuales se identifican como requerimientos:

- Identificar un proceso ordenado que puede ser serial, paralelo o una combinación de los dos para tener una disposición adecuada de los residuos.
- Conformar etapas del proceso y las actividades especializadas de transformación que resultan en un cambio físico o químico del material.
- Establecer las acciones que se deben desarrollar para completar cada operación, en el proceso de reciclaje y procesamiento del material.

Por otro lado, en la empresa hoy en día se presenta una tendencia a gestionar de forma sistematizada y centralizada las reglas ambientales dentro de la empresa, registrando en cada almacén campañas de concientización y manejo de residuos sólidos generales, pero los recursos son focalizados en el reciclaje de plástico y residuos orgánicos, lo cual implica una necesidad de ampliar la gama de residuos a ser tratados, entre otras necesidades a continuación:

- Para la empresa es necesario cumplir con las leyes Colombianas ambientales que disponen la exigencia de realizar una adecuada disposición de los residuos producto de la labor que se realiza.

- La empresa necesita evitar la acumulación de residuos dentro de la empresa, para no generar otras consecuencias de espacio, plagas y acumulación dentro del sistema.
- La generación de un sistema que vincule el reciclaje de los residuos de material aglomerado.
- Restricciones en Seguridad, seguimiento en rendimiento, disponibilidad, accesibilidad, usabilidad y portabilidad de los residuos de tablero.

3. Cuantificación por peso y perfil ambiental.

Para la verificación de cantidad de material residual de aglomerado que se genera dentro de la empresa, se crea una prueba de peso donde se cuantifica el material, con estos datos, posteriormente se propone un proceso de adaptación tecnológica que tenga la capacidad de transformación del material según datos obtenidos. Por otro lado, los perfiles ambientales permiten tener una visualización clara en cuanto a la composición de los productos analizados y sus efectos en el medio ambiente, estos son elaborados por empresa reguladoras EPD® (Environmental Product Declaration), para comunicar a sus compradores los aspectos ambientales relacionados con sus productos.

3.1 Recopilación y resultado de Información.

La recopilación de la información se realizó siguiendo el diseño experimental y el protocolo que se encuentra en el Anexo A. Donde se describen los puntos de venta analizados, la secuencia de tiempo, las herramientas de uso para el peso y conteo del material, con el fin de poder cuantificar los resultados que se ven el capítulo 7.2 del trabajo.

En Madecentro existe una configuración de la empresa por categorías según las cifras de venta que generan mensualmente cada almacén, por esto se tiene en la tabla 7, los datos que van desde ventas de 0 a 900 millones mensuales.

Tabla 7

Categorías en millones en ventas de almacenes de Madecentro Colombia S.A.S, (Madecentro, 2017)

Categoría	Millones
A - Plus	900 o Más
Tipo A	500 - 899,9
Tipo B	300 - 499,9
Tipo C	130 -299,9
Tipo D	0 - 129,9

Teniendo en cuenta esta información se analizó en Bucaramanga un almacén tipo A y un almacén tipo C, para los cuales respectivamente del día 1 de febrero al 15 de marzo se obtuvieron ventas de MDF de COL\$88.574.123 y de MDP de COL\$244.519.692 del Tipo A, así mismo para el punto de venta Tipo C ventas de MDF de COL\$25.439.989 y MDP de COL\$86.936.620, cifras que se pueden ver gráficamente en las tablas siguientes, y las cuales dan una pauta para la cantidad de material que es procesado, Figura 10.

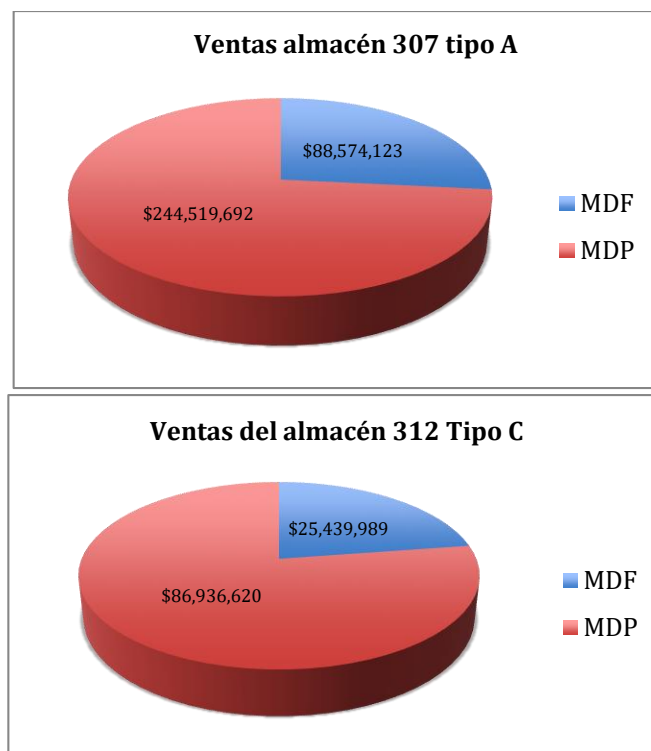


Figura 10. Ventas de un almacén tipo A y uno tipo C.

Se calculó la cantidad de volumen de material aglomerado en porcentaje que es desperdiciado en un mes, teniendo en cuenta la cantidad de láminas que se vendieron de cada producto y el residuo que se generó con la prueba de pesos de MDF y MDP, obteniendo para el MDF un 5% de volumen de desperdicio y el MDP un 9% de volumen de material residual, según se ve en la figura 11.

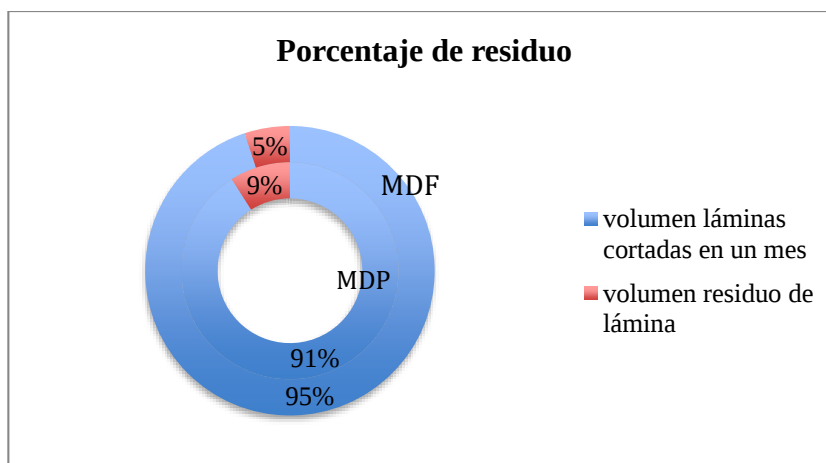


Figura 11. Porcentaje de residuo en láminas cortadas en un mes de MDF y MDP.

La prueba de peso de material residual procesado, se realizó en dos almacenes de Bucaramanga, uno Tipo A y uno Tipo C, en tres sierras de corte, con la prueba se tiene como objetivo tener los porcentajes de material residual que son transportados al relleno sanitario o dispuestos por la empresa de aseo Rediba de Bucaramanga.

La prueba registra resultados totales de 1283 Kg de MDP y 749 Kg de MDF, en las tres sierras procesadas, según se observa en la Figura 12.

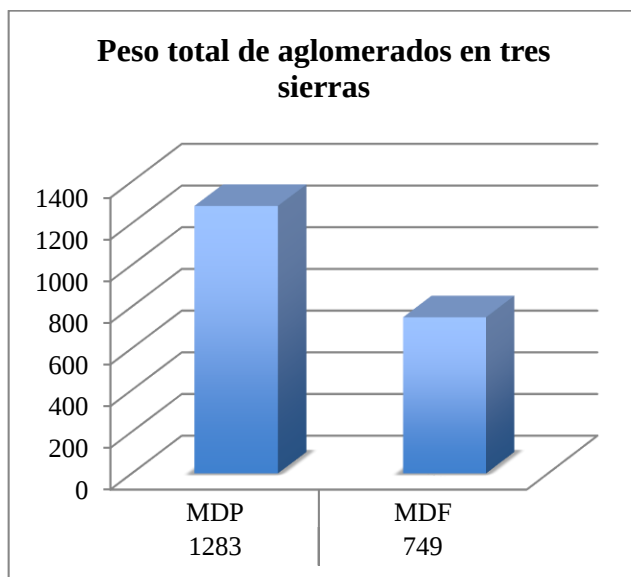


Figura 12. Peso total de aglomerado en tres sierras analizadas.

En cada una de las sierras se dispuso un recipiente para material MDF y otra para MDP para realizar la separación en la fuente, se depositó el material en costales y se pesó teniendo los siguientes resultados, conteo de MDP Sierra 1 almacén tipo A: 437 Kg, Sierra 2 almacén tipo A: 413 Kg y Sierra 3 Tipo C: 433 Kg, según se observa en la Figura 13, conteo de MDF Sierra 1 almacén tipo A 303 Kg, Sierra 2 almacén tipo C 230 Kg y Sierra 3 Tipo C 216 Kg, según se observa en la Figura 14.

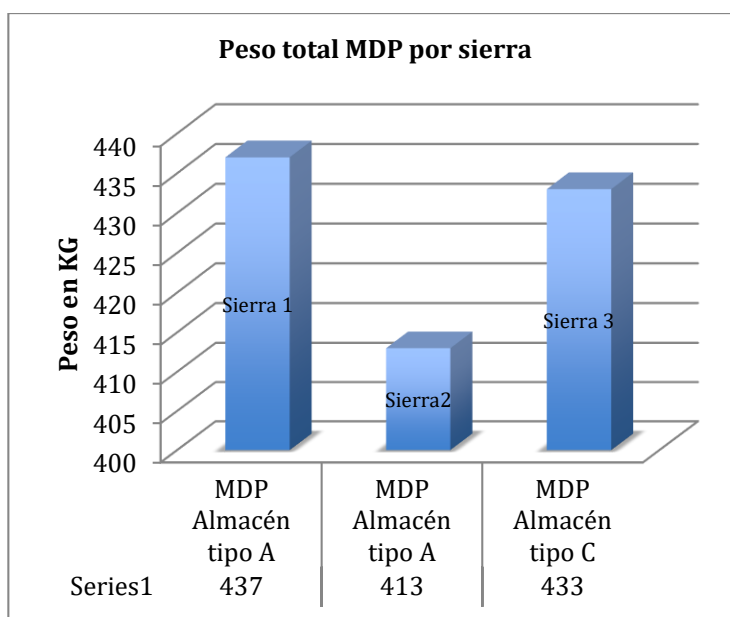


Figura 13. Peso total MDP por sierra analizada.

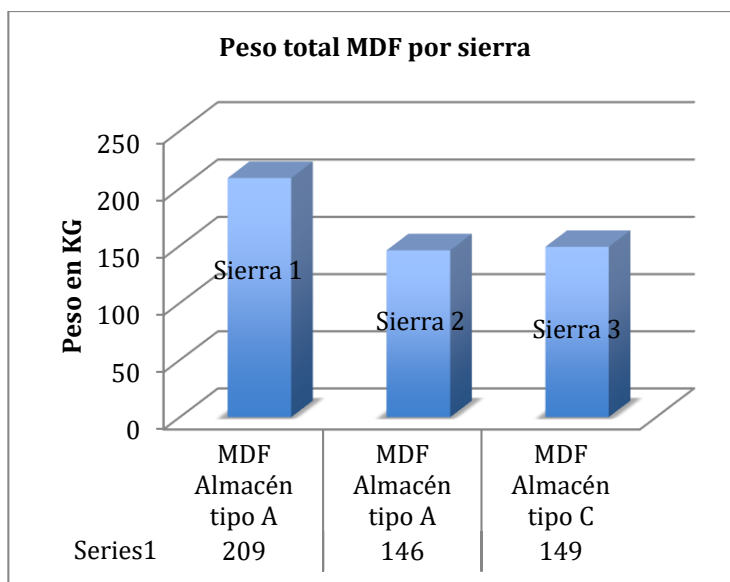


Figura 14. Peso total MDF por sierra analizada.

Las ventas del almacén influyen en la cantidad de material que se procesa y por ende el material residuo que se genera dentro del mismo, en los resultados podemos observar que el material con mayor flujo de venta es el MDP, esto se debe su alto grado de aplicabilidad dentro del mercado actual de muebles de cocina, closet, baños, bibliotecas, entre muchos más. Se concluye que en un mes hay un aproximado de 2000 Kg de material de desperdicio en dos almacenes de Bucaramanga, de los cuales 1283 Kg son de MDP y 749 Kg son de MDF.

3.2 Análisis perfil ambiental.

Según la actividad anterior de cuantificación de peso, el material con mayor cantidad de material residual que produce la empresa Madecentro Colombia S.A.S es el MDP con el 61.99% y está el MDF que tiene un porcentaje del 38.01% significativo a tener en cuenta en el análisis comparativo de los perfiles ambientales, según se observa en la figura 15.

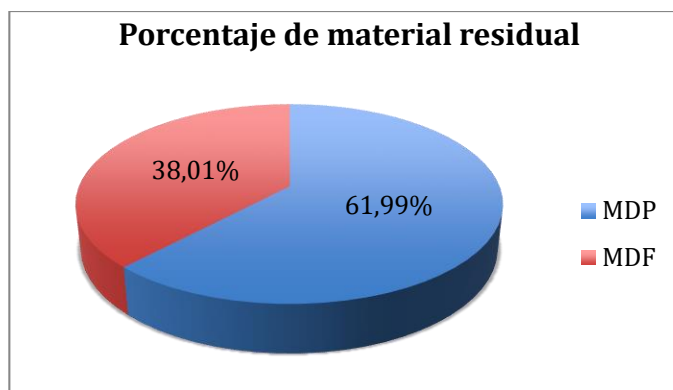


Figura 15. Porcentajes de material residual, MDF y MDP.

Los perfiles ambientales analizados fueron realizados y regulados por la EPD® (Environmental Product Declaration) quien genera un documento registrado y verificado de manera independiente que contiene información transparente y comparable sobre el impacto medioambiental de los productos durante el ciclo de vida (EPD, 2018).

Algunos aspectos analizados y que son los problemas ambientales más asociados a la fabricación de tablero de madera son:

- Emisiones a la atmósfera
- Aguas residuales
- Materiales peligrosos
- Residuos sólidos

Para la realización del perfil ambiental de un producto se parte del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), el cual está normalizado por las series ISO 14040 y 14044. Y se divide en cinco etapas de análisis: el primero (a) es la extracción de los recursos naturales (materias primas); (b) la fabricación de los productos; (c) el embalaje y la distribución; (d), el uso y el mantenimiento del producto; y (e), la disposición, donde como estrategias de fin de vida aplicables se tiene el reúso, el reciclaje, la recuperación o disposición en vertederos, incineración, etc. (Silva, 2012)

También, para el perfil ambiental del MDP se tuvo en cuenta la norma ISO 14025, y EN 15804, además de las nombradas anteriormente. Para el caso del análisis del MDF la declaración ambiental del producto cumple con las normas ISO 14025, ISO 14040, ISO 14044, EN 15804.

Según la tabla 7 comparativa el MDP tiene un alto contenido de acidificación de tierra y agua en comparación con el encontrado en el MDF, lo cual indica que depositar este material en la suelos produce sensibilidad de la tierra y de las aguas a la acidez, así como el grado de concentración de moléculas contaminantes según indica la American Wood Council, (Declaration, 2017).

Tabla 8

Cuadro comparativo de Perfiles ambientales MDP-MDF.

Característica	MDF	MDP	Indicadores
Calentamiento global, (GWP100)	6,00E+02	2,96E+02	kg CO ₂ eq/m ³
El calentamiento global, (GWP100) incluyó almacenamiento biogénico [kg CO₂ eq / m³]	5,97E+02	-----	kg CO ₂ eq/m ³
Agotamiento de ozono	3,64E-01	1,78E-01	kg CFC 11 eq/m ³
Acidificación de tierra y agua	2,53E+00	6,24E+00	kg SO ₂ /m ³
Eutrofización	7,72E-01	1,18E+00	kg PO ₄ ³⁻ eq/m ³
Creación de ozono fotoquímico	1,38E-01	1,31E-01	kg C ₂ H ₄ eq/ m ³
Agotamiento de recursos abióticos (elementos)	6,76E+03	3,28E+03	kg Sb/m ³
Agotamiento de recursos abióticos (fósil)	5,08E+03	4,09E+03	MJ/m ³

*La unidad funcional en consideración es 1 m³ de tablero de partículas y MDF en crudo, (Agency, 2016).

El calentamiento global se ve mayormente afectado por el MDF y así mismo, como la eutrofización, y el agotamiento de recursos bióticos, por lo cual este producto comparado con el MDP produce mayor contaminación si no se recicla o se generar algún tratamiento sobre el

mismo. En los Estados Unidos la EPA emitió en el 2016 una regla final para implementar los Estándares de Formaldehído para la Ley de Productos de Madera Compuestos, que agregó el Título VI de la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA). El objetivo es reducir las emisiones de formaldehído de los productos de madera compuesta, lo que reducirá la exposición al formaldehído y dará como resultado beneficios de evitar los efectos adversos para la salud humana. Esta regla final incluye estándares de emisión de formaldehído aplicables a madera contrachapada de madera dura, tableros de fibra de densidad media, y tableros de partículas.(Agency, 2016). Por lo cual, se generan los estándares de emisión basados en el método de prueba ASTM E1333, donde para tableros de fibra de densidad media, 0,11 ppm de formaldehído y para tableros de partículas, 0.09 ppm de formaldehído.

Para el fin de vida del tablero aglomerado, se tienen como opciones más comunes ser depositado en la tierra como relleno, por lo mismo se genera la fracción de degradación orgánica en carbono o degradable Organic Carbon Fraction (DOCf) (Spa & Fauser, 2010), el cual permite medir las emisiones de carbono que se producen en los vertederos, de donde se tiene que:

- Los gases formados por la degradación de la madera en un vertedero, el 50% es metano y el 50% es dióxido de carbono, figura 16.
- Todo el dióxido de carbono se libera directamente a la atmósfera

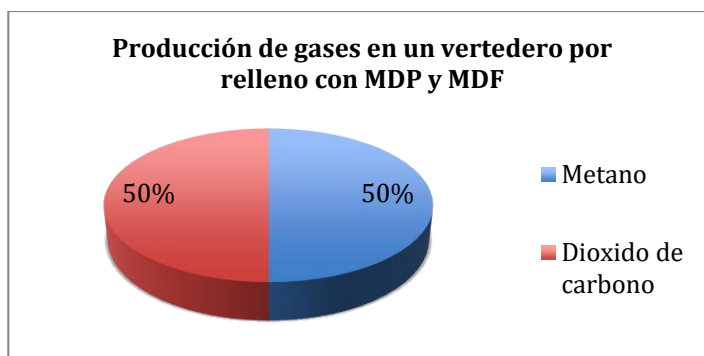


Figura 16. Gráfico de porcentajes de gases producidos en un vertedero por efecto del MDP y el MDF como relleno.

Del 64% de metano que no se captura, el 10% (6.4% del total) se oxida (Gobierno australiano 2016) y el 90% (57.6%) se libera a la atmósfera (Spa & Fauser, 2010) como lo podemos observaren la figura 17, donde se ilustran los porcentajes de metano liberado y metano capturado.

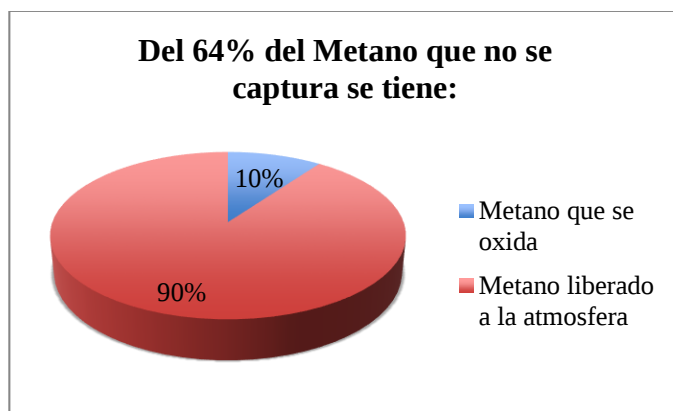


Figura 17. Gráfico de porcentajes de Metano liberado a la atmosfera y Metano que se oxida un vertedero.

Así mismo, en el perfil ambiental se presentan impactos ambientales al realizar el vertimiento de MDP en suelo, teniendo mayor consecuencia perjudicial los recursos de energías fósiles no renovables (ADPF) y el Potencial de calentamiento global (GWP), Figura 18

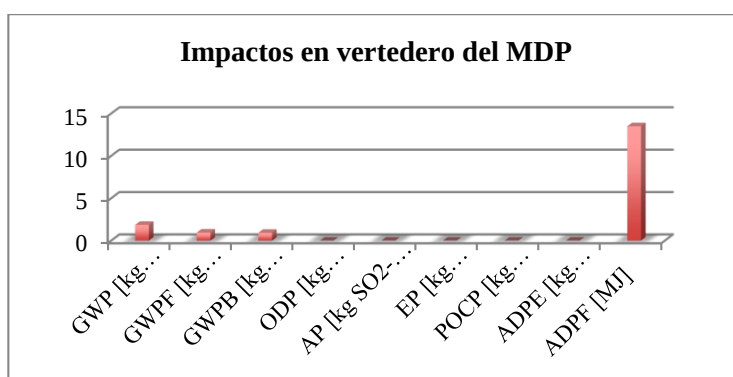


Figura 18. Gráfica de impactos en vertederos por suministro de MDP, en un tablero de Potencial de calentamiento global (GWP), carbono fósil (GWPF), carbono biogénico (GWPB), Potencial de agotamiento del ozono (ODP), Potencial de acidificación (AP), Potencial de eutrofización (PE), Potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP), Potencial de agotamiento abiótico (ADP), recursos de energías fósiles no renovables (ADPF)

Por otro lado, se propone que, una forma de mitigar y de acelerar la degradación, si se va a realizar un vertimiento a suelo del material, es triturar el material para liberar la madera. Pero se requiere un total de 280.5 kWh de energía eléctrica para producir 1.0m³ de panel, lo cual es un gasto energético perdido. Para generar la energía térmica necesaria para producir MDF, se requieren 167,6 kg de leña y 17,4 m³ de gas natural (el 23% del gas total es consumido por la planta térmica I y el 77% suministra la planta térmica II) (Piekarski et al., 2017), en la figura 19 se representa el gasto energético en el ciclo de vida de un MDP, además del gasto de agua en la figura 20, que de igual manera en mayor cantidad es producido por la fase de producción.

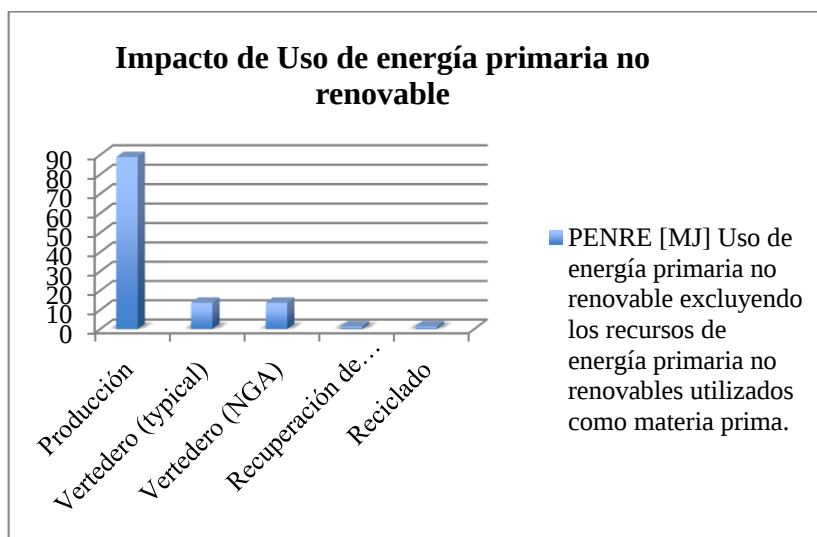


Figura 19. Impacto de uso de energía primaria no renovable en un MDP, (Piekarski et al., 2017)

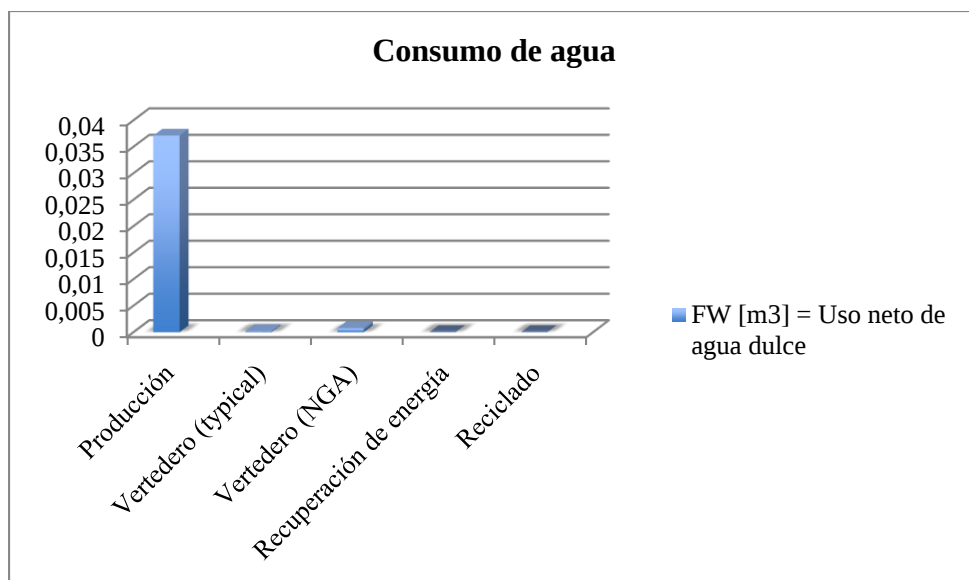


Figura 20. Gráfica de consumo de agua en el CV del MDP, (Piekarski et al., 2017)

Para tener el volumen de material residual que se genera en un mes en la empresa Madecentro en dos almacenes de Bucaramanga, se realizan algunos cálculos utilizando la ecuación de volumen, se obtiene el volumen de material de residuo, figura 21.

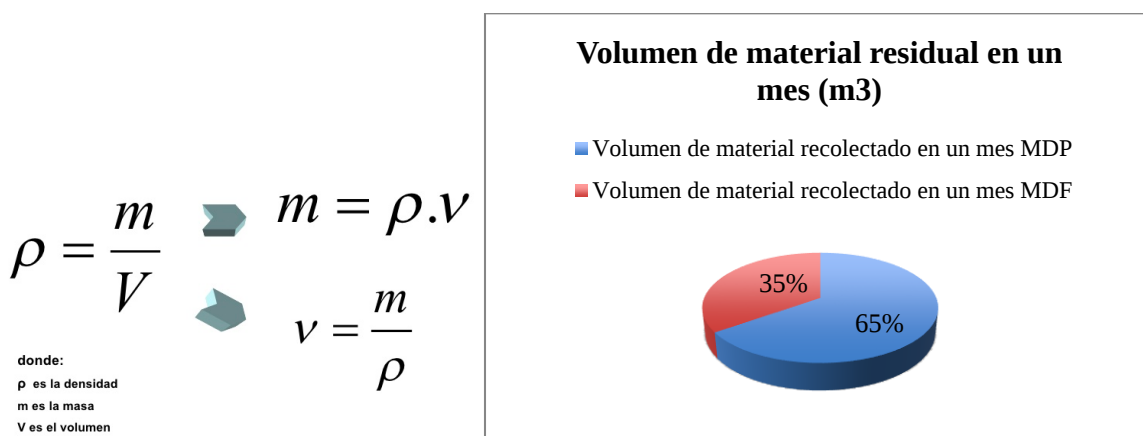


Figura 21. Volumen de material residual recolectado en un mes por dos almacenes de Bucaramanga.

Teniendo en términos de volumen los porcentajes de MDP y MDF que se generan como residuos dentro de la empresa, en la figura 18, se calculan los impactos generados en el volumen de material residual generado en un mes por la empresa Madecentro Colombia S.A.S en dos almacenes de Bucaramanga, se ilustran los impactos como el calentamiento global, el agotamiento de los recursos abióticos en términos de elementos y fósiles, la acidificación de agua y tierra, eutrofización, y el agotamiento capa de ozono, figura 22 y figura 23 donde el agotamiento de recursos abióticos se ve afectado de mayor forma.

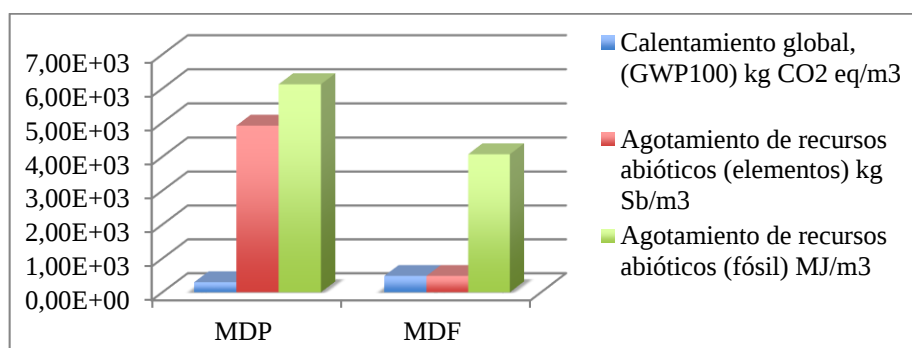


Figura 22. Impactos generados en el volumen de material de residuos en un mes de prueba de la empresa Madecentro.

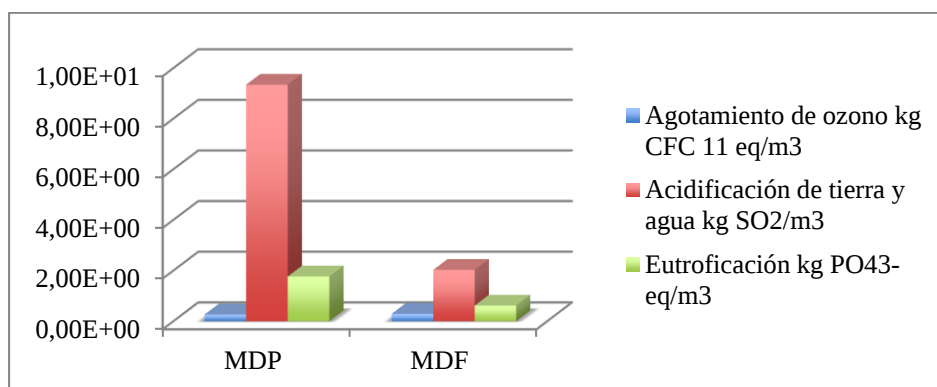


Figura 23. Medida de impactos generados en un mes de residuos de aglomerado.

En conclusión, los datos demuestran que el MDP por volumen y por medida de impactos tiene una afectación mayor en el medio ambiente, teniendo un 68% de afectación en comparación con la cantidad y afectación del 32% que se muestra el MDF.

3.3 Listado de entradas y salidas.

En el ciclo de vida del tablero de madera aglomerada, se evidencia como entradas, recursos naturales, energías renovables, energías fósiles, sustancias químicas perjudiciales, los cuales son transformados en procesos físicos para generar emisiones como el metano, dióxido de carbono, formaldehído y material particulado.

El listado de entradas y salidas se elabora a partir del análisis de dos ciclos de vida encontrados en la literatura, (a) la “Evaluación del ciclo de vida del proceso de fabricación de tableros de fibra de densidad media (MDF) en Brasil”, (Piekarski et al., 2017) y (b) “Evaluación del ciclo de vida de la producción del panel de madera MDP en Brasil” (Silva, 2012), de donde se tienen resultados del gasto energético, consumo de materias primas, emisiones de agua y suelo, flujos de entradas y salidas.

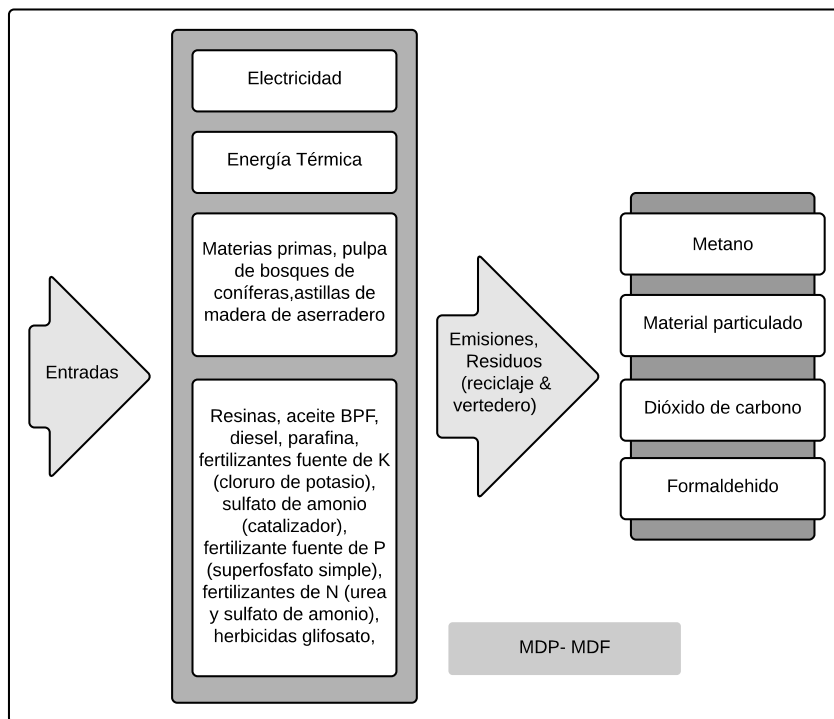


Figura 24. Diagrama de entradas y salidas del sistema de producción de un tablero aglomerado.

En este diagrama, figura 24, se representan las entradas necesarias para la realización del producto, en este caso las entradas están representadas en energía eléctrica, energía térmica, materias primas, gas natural y aditivos, que afectan directamente el crecimiento de la planta y la producción del producto, destacando el consumo de la resina UF en el proceso industrial, con el 44,0% del consumo total, además, en el consumo de recursos materiales renovables, estuvo en evidencia el consumo de agua, representando el 62,4% del consumo total, según lo identifica Silva en su trabajo, pero el mayor hallazgo es la resina UF que mostró los impactos ambientales más significativos para la toxicidad humana con el 96,2% de los impactos, eutrofización con el 32,4% de los impactos, la depleción de los recursos abióticos con el 25,8% de los impactos, y el calentamiento global con el 22,5% ciclo de vida productivo del MDP, (Silva, 2012). “Se ha comprobado que la madera y la resina UF son las principales contribuyentes a los impactos

ambientales, representando el 77,7% de los impactos potenciales. La madera presentó mayores impactos en relación al sulfato de amonio y la parafina para todas las categorías analizadas. Sin embargo, los impactos fueron inferiores al compararse con la resina UF, con excepciones para las categorías de eutrofización, acidificación y eco toxicidad. La resina UF presentó los mayores impactos potenciales para las categorías de depleción de los recursos abióticos, calentamiento global, formación fotoquímica de ozono y toxicidad humana,” (Silva, 2012). También, se evidencia la necesidad de minimizar el consumo de madera, debido a los impactos potenciales del subsistema de producción forestal como un todo, en especial, para la eutrofización y la eco toxicidad.

Seguidamente, se realiza una secuencia de procesos físicos y químicos para la transformación de la madera en tablero aglomerado, lo cuales requieren combustibles, energía térmica, gas natural y energía eléctrica para el funcionamiento de los mismos, procesos como el triturado de madera en partículas y fibras, mezcladora, secado de la partícula, presión por calor, verificación de paneles, entre otros procesos.

Por último, se obtiene diferentes productos de salida, se obtiene agua, material particulado, aceites, producto en forma de tablero aglomerado, y gases, como metano y dióxido de carbono, los cuales son emisiones generadas por el análisis del ciclo de vida en el proceso de producción de un tablero aglomerado, y que son los elementos que afectan posteriormente el gasto ambiental del producto residual.

3.4 Listado de impactos ambientales.

Los mayores impactos ambientales del MDP y el MDF son el calentamiento global, el agotamiento de ozono, la acidificación y la Eutrofización, (EPD, 2018). En la tabla 9, se

presentan los resultados de emisiones calculados para el material correspondiente a un mes de recolección de residuos dentro de la empresa Madecentro Colombia S.A.S,

Tabla 9

Indicadores de impactos del CVA del MDP comparado con MDF en un mes de residuos en dos almacenes dentro de la empresa Madecentro.

Indicador de impacto	Modelo de caracterización	Categoría de impacto	MDP	MDF	Indicador
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	Calcule las emisiones totales en la unidad de referencia de CO ₂ equivalentes para CO ₂ , metano y óxido nitroso.	Calentamiento global	2.97E+02	4.81E+02	kg CO ₂ eq/m ³
Liberaciones al aire que disminuyen o adelgazan la capa de ozono	Calcule el total de productos químicos que forman ozono en la estratosfera, incluidos los HCFC de CFC, el cloro y el bromo. Los valores de agotamiento del ozono se miden en las unidades de referencia de los equivalentes de CFC	Agotamiento de ozono	2.66E-01	2.92E-01	kg CFC 11 eq/m ³
Emisiones al aire que pueden producir lluvia ácida (acidificación)	Calcule el equivalente total de iones de hidrógeno (H ⁺) para los óxidos de azufre liberados, los óxidos de nitrógeno, el ácido clorhídrico y el amoníaco. Valor de acidificación de H ⁺ + moleeq. se usa como una unidad de referencia.	Acidificación	9.34E+00	2.03E+00	kg SO ₂ /m ³
Emisiones al aire que pueden dar lugar a la	Calcula las sustancias totales que contienen nitrógeno o fósforo	Eutrofización	1.77E+00	6.19E-01	kg PO ₄ -eq/m ³

eutrofización de los cuerpos de agua disponibles. Potencial de eutrofización de N-eq. se usa como una unidad de referencia.

Como lo especifica la figura 25, el MDF tiene un porcentaje más alto de calentamiento global en comparación con el MDP.

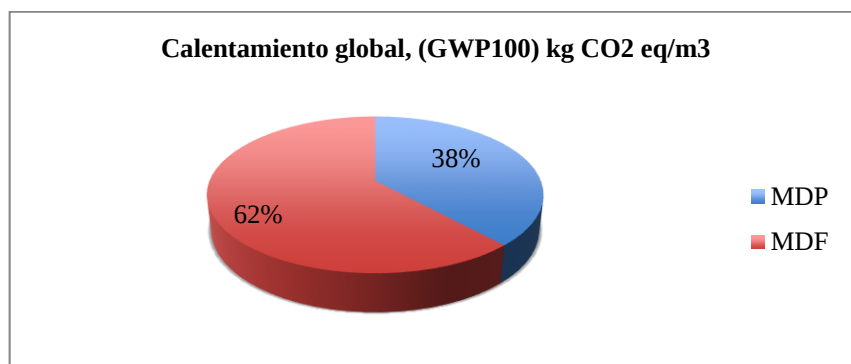


Figura 25. Porcentaje de Calentamiento global generado por el MDP y MDF en un mes.

Al mismo tiempo, el porcentaje de acidificación del MDP es del 82%, según la figura 28, comparado con un 18 % del MDF, generando mayor daño en la tierra el MDP, de la misma manera el porcentaje de Eutrofización en el MDP es de 74% y en el MDF de 26%.

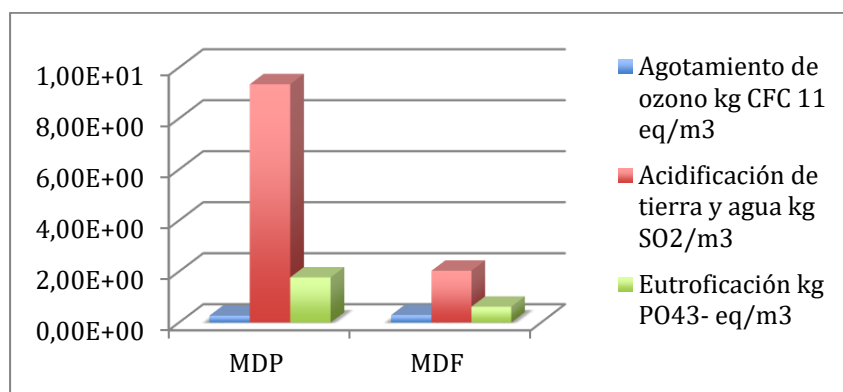


Figura 26. Agotamiento de ozono, Acidificación, Eutrofización generados por el MDF y MDP en un mes.

En el análisis se generan resultados de sumatoria de impactos MDF y MDP, según los volúmenes de material recolectados en un mes de residuos de tablero aglomerado, donde el MDP tiene un 68% de daño en emisiones y el MDF un 32% de emisiones, por lo cual se concluye que el MDP es el material para el cual se diseña la adaptación tecnológica de este proyecto, como se puede observar en la figura 27.

Se realizó el cálculo para un metro cúbico de material, donde se tiene un valor específico por cada indicador de emisiones según se indica en la tabla 9, se realiza un cálculo sencillo de regla de tres para obtener la cantidad de emisiones que se producen en 1283 Kg de MDP y 749 Kg de MDF, utilizando para el cálculo la densidad especificada en el producto de 15 mm como MDP 660 m³ y el MDF 840 m³, con estos datos se obtiene el producto de cada emisión y se realiza una sumatoria que indica al MDP como el mayor generador de contaminación en según las emisiones evaluadas.

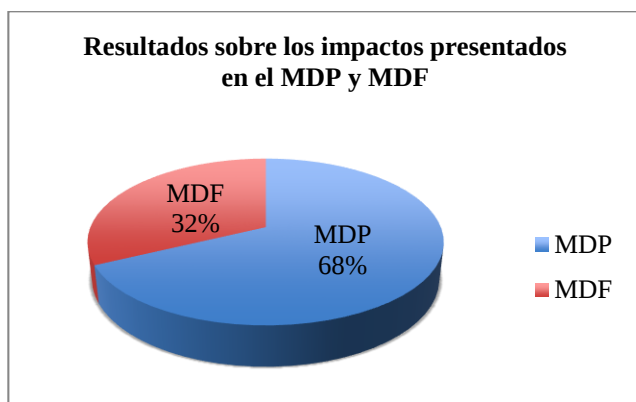


Figura 27. Resultados gráficos de la sumatoria de impactos MDF y MDP, según los volúmenes de material recolectados en un mes.

En conclusión, el MDP produce mayor cantidad de emisiones contaminantes, en la prueba de peso es el producto con 1283 Kg mensuales producidos en dos almacenes de la empresa Madecentro y 749 Kg de MDF, que al multiplicar en los 112 almacenes del país se tiene un

aproximado de 141.130 kg de MDP material desperdicio mensual y 82.390 Kg de MDF. Por otro lado, el análisis de los perfiles ambientales indica que el material MDP genera mayor acidificación en tierra, siendo este un aspecto relevante, sabiendo que el material de desecho en su gran mayoría es depositado en los vertederos municipales de basura, también, se ve afectada por la eutrofización que puede a su vez causar cambios en la química de los suelos y pérdida de fertilidad. Por estas razones, el Material seleccionado para la adaptación tecnológica es MDP.

4. Propuesta de adaptación Tecnológica.

La propuesta de adaptación tecnológica se construye de la siguiente manera: En la fase uno, se identificaron once procesos tecnológicos usados en el mundo para transformar el tablero aglomerado, en la fase dos, con la prueba de campo y del análisis de perfiles ambientales, se determinó como resultado que el MDP es el material que produce mayor cantidad de residuo perjudicial para la región, con emisiones que provocan eutrofización, acidificación, agotamiento biótico y el calentamiento global. En la tercera fase, el propósito es abordar directamente los problemas presentados por la cantidad, acumulación, y disposición de los residuos de madera aglomerada tipo MDP, para generar una propuesta que quiere reducir el impacto ambiental, se inicia con la generación de una lista de requerimientos, teniendo en cuenta las necesidades de la empresa y del proceso, se realizan diagramas de casos de uso, donde se identifica la secuencia del sistema y se compara el sistema actual, con la propuesta. Seguido, se realiza una descripción del sistema, teniendo en cuenta la maquinaria y capacidad del sistema, por último, se presenta la viabilidad en la región.

4.1 Requerimientos del proceso.

El sector del mueble y la madera tiene una deficiencia en el procedimiento de optimización de material, donde la materia prima no es 100% aprovechada, no todo se convierte en producto útil, hay salidas de materia prima que se convierten en residuo inmediato causando un gasto medio ambiental. La tabla 10, contiene una lista de necesidades identificadas, que han sido recolectadas a través de una serie de visitas a la empresa Madecentro Colombia S.A.S, donde por medio de observación del proceso y del manejo de los residuos, se determina como necesidades el aprovechamiento de los residuos, la afectación ambiental y socio-cultural, además del almacenamiento y disposición de los residuos. Se realizaron diferentes entrevistas (ver Anexo B), primero al gerente general de zona, quien tiene el control de 12 almacenes en la región Santander y Boyacá, el cual explicó el funcionamiento del proceso general de corte y entrega, así mismo, en cada punto de venta, donde se realizó la prueba de peso, se entrevistó al administrador y los operarios encargados de la manipulación directa del material en el proceso interno de transformación de tablero aglomerado, de las cuales queda como conclusión en la tabla 10 las necesidades y requerimientos del sistema general. Las necesidades interpretadas se convierten en requerimientos por la raíz del problema y su trascendencia dentro del sistema. Se expresan los requerimientos, los cuales se usan en el capítulo 6.3 de Evaluación del sistema, para realizar la matriz de evaluación de requerimientos en los diferentes sistemas propuestos.

Tabla 10

Necesidades del sistema.

Vos del Cliente	Necesidad interpretada	Aspectos críticos		
		económicos	tecnológicos	Ambientales
Aprovechar los residuos de tableros	Recuperación de materiales y subproductos	El material de desecho es una materia prima desaprovech	No está diseñada la tecnología eficiente para asumir las pérdidas económicas y pérdidas en el recurso natural invertido en la materia	-No hay un uso eficiente de recurso natural. -La madera de pino y el eucalipto son los principales materias primas.

		ada.	prima desperdiciada.	-No se realiza una prevención de la contaminación. -Es necesario el control de reforestación de bosques.
Afectación sociocultural	Controlar la acumulación de residuos dentro y fuera de la empresa.	Los vecinos y afectados hacen uso de la ley ambiental para sanciones económicas	Los estándares de calidad de la empresa se ven afectados.	Utilización de mayor cantidad de recursos natural para la generación de productos y materia prima. Se generan plagas y contaminación visual.
Almacenamiento	Proceso definido para el control de almacenamiento de los residuos.	El costo económico de multas y sanciones por acumulación de residuos	El mejoramiento continuo, la capacidad de innovación para no generar almacenamiento excesivo de material, nuevas técnicas de producción y reconversión tecnológica	Foco de plagas y espacio perdido.
Multas por material residual en los alrededores de la empresa y exceso dentro de la empresa.	Cumplimiento de las normas medio ambientales legales Colombianas	El no cumplimiento o del reglamento y de las leyes genera una multa económica que va de 1 a 20 salarios mínimos	Implementar en el sistema la normatividad requerida.	La necesidad de incluir variables ambientales en la recuperación de residuos y variables sociales en la toma de decisiones de desarrollo sostenible.
Competitividad ambiental	La competitividad del mercado la rigen actualmente las tendencias ecologistas de los productos.	Los nuevos retos de competitividad se miden por la capacidad de ser amigables con el medio ambiente, lo cual atrae clientes.	El uso de nuevas tecnologías que busquen efectividad para mayor competitividad.	El proceso se hace amigable con el medio ambiente, por ende se bajan los impactos ambientales.
Implementación de nuevas tecnologías	Es necesario que la maquinaria cumpla con estándares altos para el cumplimiento eficiente de producción sin afectar el	Genera menos gasto de energías y recursos naturales	-----	Suplir el gasto ambiental que produce generar un producto con recursos naturales vírgenes

	medio ambiente				
Disminuir los volúmenes de residuos	Produce pérdida de espacio para la empresa y genera plagas que afectan la salud humana	Producir valor agregado con los residuos	Procesos tecnológicos que convierta el residuo en materia prima	No tener acumulación de material que produce plagas y otros aspectos negativos	

Tabla 10 (Continuación)

Requerimientos generales del sistema		
Requerimiento	Descripción del requerimiento	Medida
Rendimiento	El rendimiento de la maquinaria permite la transformación de residuo producido en una semana de recolecta.	mayor a 2000kg
Versatilidad	Puede procesar materiales de dimensiones variadas	Procesa material MDF de 1 x 10 cm hasta piezas de 30 x 30 cm
Confiabilidad	El proceso no presenta emisiones de material particulado en su ejecución	PM10 Material particulado menor o igual a 10 micrómetros
Modo de producción	capacidad Industrial, se genera maquinaria para transformar material de residuo s	Capacidad de proceso en Kg
Gasto medio-ambiental	Permite suplir el gasto ambiental que produce generar un producto con recursos naturales vírgenes	Cantidad de madera procesada, Kg
Confiabilidad	El proceso no presenta emisiones de gases.	kg CO2 eq/m3
Estandarización	Estandarización del tamaño y la forma de la pieza.	M3
Materia prima	Permite generar materia prima reciclada para el uso de un nuevo proceso.	M3
Legal, Ley 09 de 1979	Cumple las medidas sanitarias sobre manejo de residuos sólidos	Lista de chequeo de normatividad.
Impacto ambiental	El sistema permitirá reducir los impactos medio ambientales	Kg de sustancias químicas emitidas al aire, suelo.
Demanda	La demanda del sistema en Bucaramanga dentro del sector de la madera generadores de residuo	# de empresas demandantes para la transformación del material de residuo.

Gasto medio-ambiental	Permite suplir el gasto ambiental que produce generar un producto con recursos naturales vírgenes	Cantidad de madera procesada, Kg.
------------------------------	---	-----------------------------------

4.2 Diagramas de caso de uso.

Se establecen un diagrama general del sistema actual, donde el proceso inicia desde la recolección de los residuos en la empresa Madecentro, hasta depositar en el vertedero municipal de Bucaramanga, como se muestra en la figura 28, siendo un ciclo abierto donde los residuos no tienen un tratamiento.

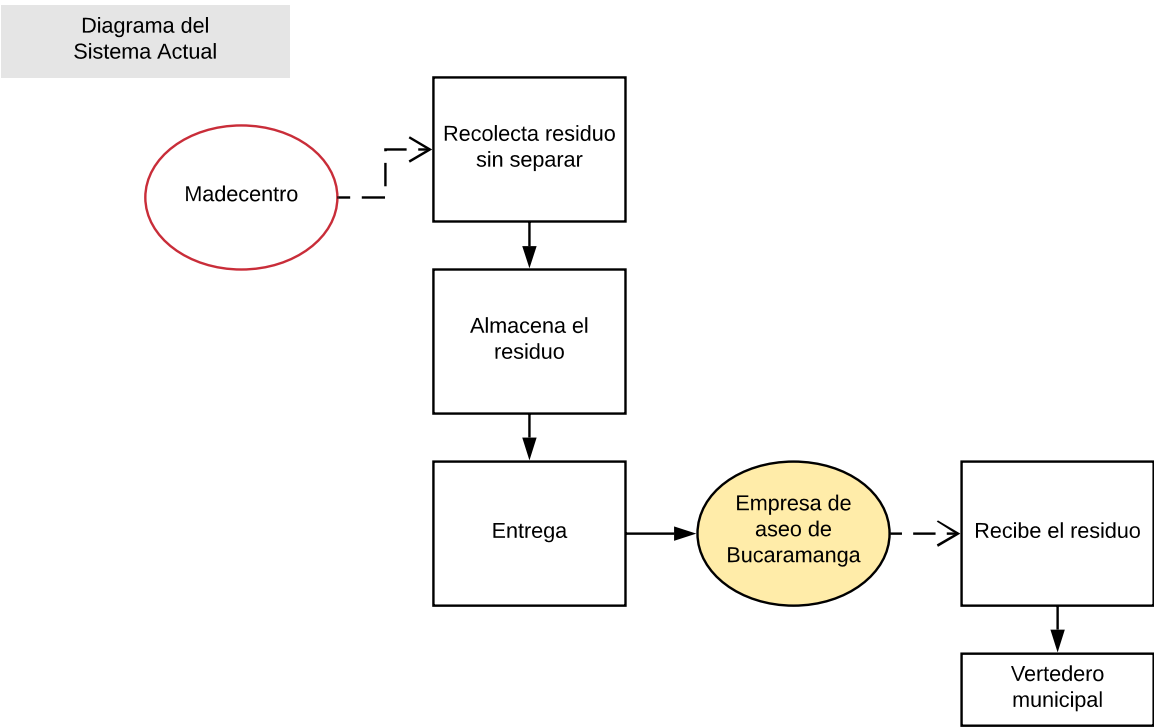


Figura 28. Diagrama del Sistema Actual.

En el diagrama de la figura 29, se representa el diagrama de uso de la propuesta, donde se plantea a través de la adaptación tecnológica, y otros procesos, iniciando (a) con la separación

en la fuente dentro de la empresa Madecentro, pasando por la (b) Homogenización de la materia, donde los residuos son sometidos a un tratamiento de unificación de tamaño y forma, seguido (c) se realiza un proceso de adaptación resultado de la evaluación y por último, (d) obtener como resultado una materia prima útil para empresas de la región interesadas.

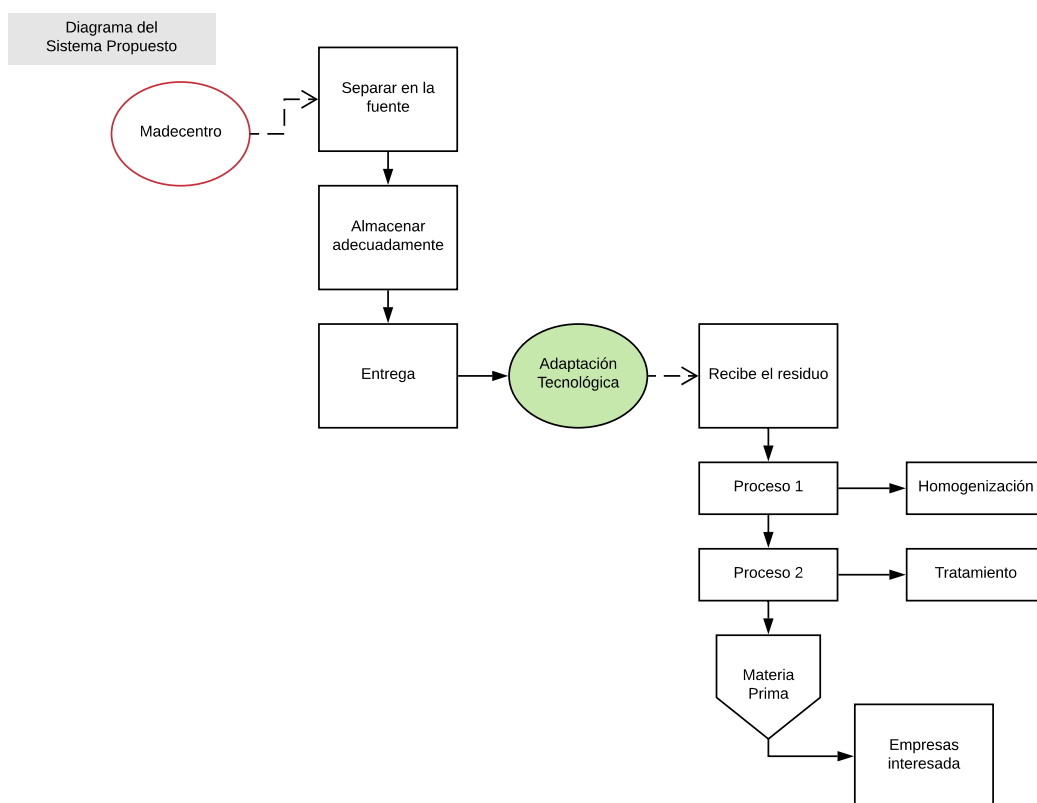


Figura 29. Diagrama del sistema propuesto.

4.3 Evaluación de proceso.

Se realiza un nuevo análisis de comparación de los procesos, en el cual se descarta el proceso de compostaje por el tiempo prolongado para la descomposición del material, donde la película superficial fenólica perdió el 17% de su peso en 154 días, el aglomerado perdió 10% de su peso

similar a la madera contrachapada (12%) en 365 días, (Peltola et al., 2000). Además, la descomposición de este material es ambientalmente desventajosa; daña el medio ambiente por tener intrínsecamente productos de degradación dañinos como el formaldehído, (Ihnát et al., 2017). Por otro lado, la hidrólisis es un proceso que daña seriamente la viruta de madera por la acción de la temperatura y la presión, por lo cual tiene un impacto positivo y con mejores resultados siendo utilizado con el proceso de calentamiento óhmico. Las partículas resultantes pueden usarse para capas intermedias de tableros de partículas en una cantidad que depende del nivel de formaldehído residual, pero se deben agregar partículas frescas para producir tableros de con propiedades aceptables, (Ihnát et al., 2017). También, entre los procesos físicos se descarta el proceso desfibración, por ser un proceso que se realiza exclusivamente en el panel de fibras de densidad media (MDF), (Benthien et al., 2017), ya que la maquinaria está diseñada para este tipo de fibra y tableros. Por último el proceso anaeróbico, tiene una desventaja, sabiendo que la madera tratada o con añadidos de resinas y formaldehído no está clasificada dentro de los productos reciclables, al tener estos componente inhibe la creación de microorganismos rápidamente, por lo cual el proceso se hace más lento y por ende menos eficiente, y en consecuencia el formaldehído queda en la composta, (Peltola et al., 2000). Finalmente, se presentan 5 procesos probables para la adaptación tecnológica como se pueden ver en la figura 30.

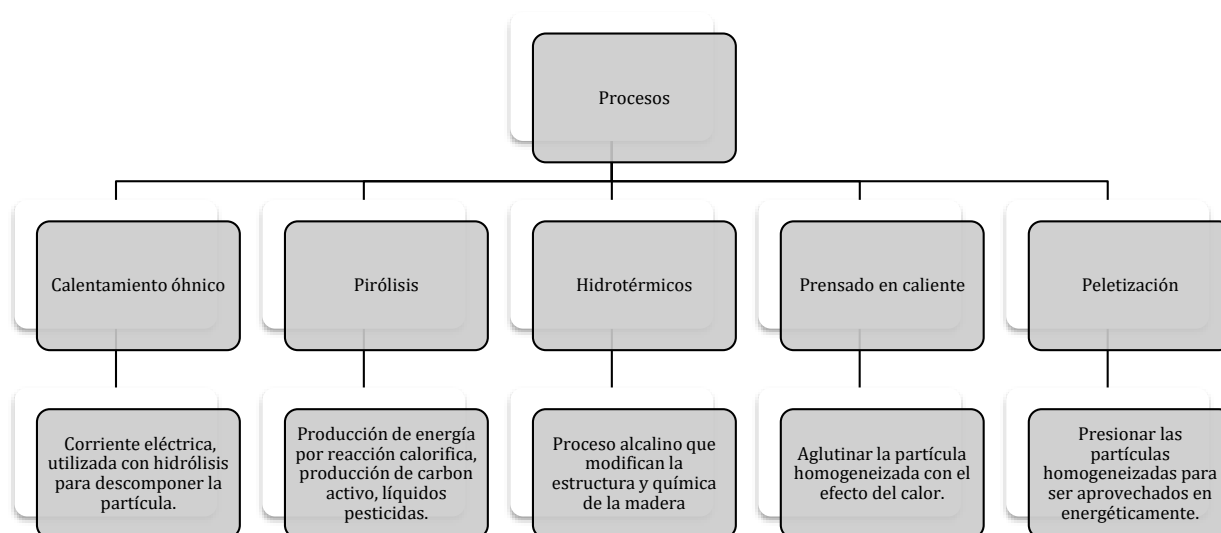


Figura 30. Procesos para análisis de adaptación tecnológica.

Se realiza una evaluación teniendo en cuenta los requerimientos establecidos anteriormente y los 5 procesos identificados, relacionados en la tabla 12. Para esta evaluación, se realiza una búsqueda de información complementaria a la obtenida en la fase 1 del proyecto, con el fin de encontrar manuales de uso, fichas técnicas y empresas productoras de maquinaria especializada en cada proceso, que suministren la información de manejo, gasto de material, procesos de producción, gastos energéticos, entre otros, en el Anexo C se encuentra un resumen de los datos encontrados. Así mismo, con esta búsqueda se define las especificaciones de la maquinaria para definir el proceso a evaluar. Se procede a dar un valor de 1 a 5, sabiendo que 1 es ineficiente, 2 poco eficiente, 3 aceptable, 4 eficiente, 5 muy eficiente, con lo cual, se puede comparar y tener un proceso que tenga las características buscadas en el proyecto.

Tabla 11

Evaluación de procesos por requerimiento.

Requerimientos	Especificación	métrica	Pirolisis	Calentamiento Óhmico	Hidrotérmico	Peletización	Prensado en caliente
Facilidad de uso	El proceso es rápido	menos de 5 horas	2	3	3	5	4
Seguridad	El proceso no genera riesgo para el operario.	Sistema de evaluación de riesgo.	2	4	4	3	4
Mantenimiento	Es accesible a mantenimiento	Lista de chequeo	2	2	4	4	5
Mecanismo	Permite procesar partícula de madera previamente homogeneizadas	menor o igual a 5 mm	5	5	4	5	4
Rendimiento	El rendimiento de la maquinaria permite la transformación de residuo producido en una semana de recolecta.	Mayor a 2000 kg	5	3	3	5	5
Confiabilidad	El proceso no presenta emisiones de material particulado en su ejecución	PM10 Material particulado menor o igual a 10 micrómetros	1	5	4	1	3
	Calidad de aire	kg CO2 eq/m3	1	4	3	1	3
Modo de producción	Industrial, se genera maquinaria para transformar material de residuo.	Capacidad de proceso en Kg	5	3	3	3	5
Consumo de energía	El sistema permitirá reducir el gasto de energía.	Kwh	5	2	4	5	3
Gasto medio-ambiental	Permite suplir el gasto ambiental que produce generar un producto con recursos naturales vírgenes	Cantidad de madera procesada, Kg	2	4	3	5	4
Impacto ambiental	El sistema permitirá reducir los impactos medio ambientales	Kg de sustancias químicas emitidas al aire, suelo.	1	4	3	1	4
Demanda	Cantidad de agua utilizada por unidad de producción Indicador de desempeño ambiental de gestión.	litros de agua	2	1	1	2	4
Ley 09 de 1979	Cantidad de formaldehído en el material	gramos	1	5	1	1	1
			34	45	40	41	49

* métrica de evaluación: 1 es ineficiente, 2 poco eficiente, 3 aceptable, 4 eficiente, 5 muy eficiente

Como resultado, se obtiene que el prensado en caliente es el proceso que se adapta mejor a los requerimientos. El uso de prensado en caliente, es el proceso tradicional para la construcción de tablero, pero se encontró la posibilidad de realizar otros productos que posteriormente serán analizados. Este es un proceso complejo, donde la transferencia de calor y masa interactúa en una compresión perpendicular al plano de la estera, (Oudjehane, Azzeddine, Frank Lam, 1997).

Ventajas del proceso:

- Recuperación de las partículas en nuevos tableros
- El proceso se realiza en seco
- El gasto medio ambiental disminuye al ser reemplazados los recursos naturales vírgenes en partículas recicladas.

- Teniendo la maquinaria adecuada el proceso es sencillo y seguro y rápido.
- La maquinaria se encuentra en el país y se tiene accesibilidad al mantenimiento de piezas.
- La calidad del aire puede ser controlada en el sistema cerrado.
- La capacidad de producción es mayor a 2000 kg semanales.

Desventajas del proceso, (Oudjehane, Azzeddine, Frank Lam, 1997) :

- El proceso necesita mezclar recurso natural para la realización del proceso
- La partícula curada inicialmente pierde propiedades de estabilidad que no son recuperadas en el nuevo proceso de prensado.
- La partícula sigue teniendo el componente formaldehído internamente.

4.4 Descripción del sistema.

Se propone un sistema donde la materia prima sea el material residual de tablero aglomerado, y este procesos inicia como se explica en la figura 32, comienza la cadena de producción desde la

separación en la fuente de material residual, segundo el almacenamiento dentro de la empresa, posteriormente y se realiza la homogeneización de tamaño, generando una nueva partícula entre 3 a 5 mm, para luego realizar el prensado en caliente, y la generación de la nueva materia prima que es entregada a los interesados para su posterior utilización.

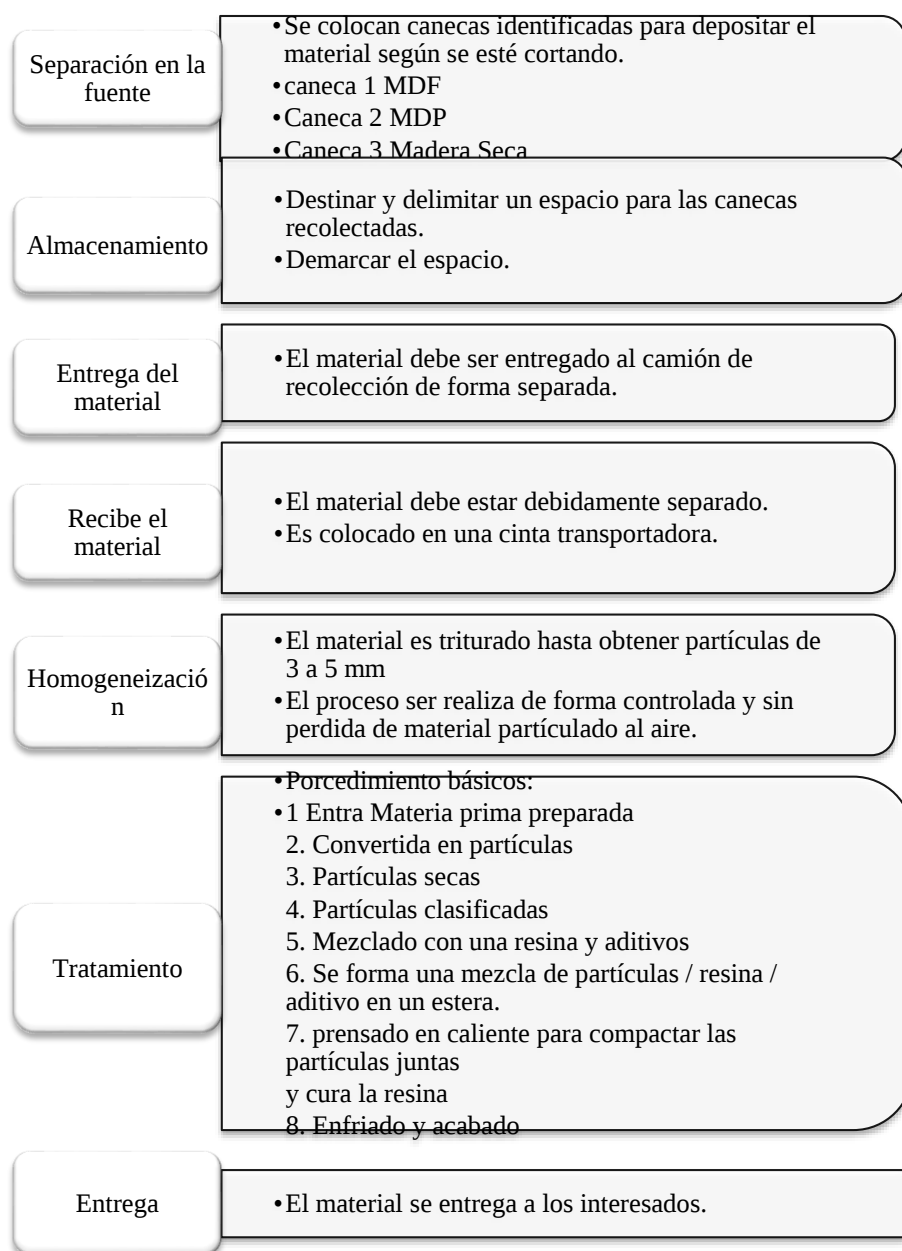


Figura 31. Especificaciones del proceso completo de adaptación tecnológica.

En el proceso completo como se muestra en la figura 32, se divide en tres grandes procedimientos, la separación en la fuente, la homogeneización y el tratamiento, los cuales a su vez tienen componentes internos para su ejecución.

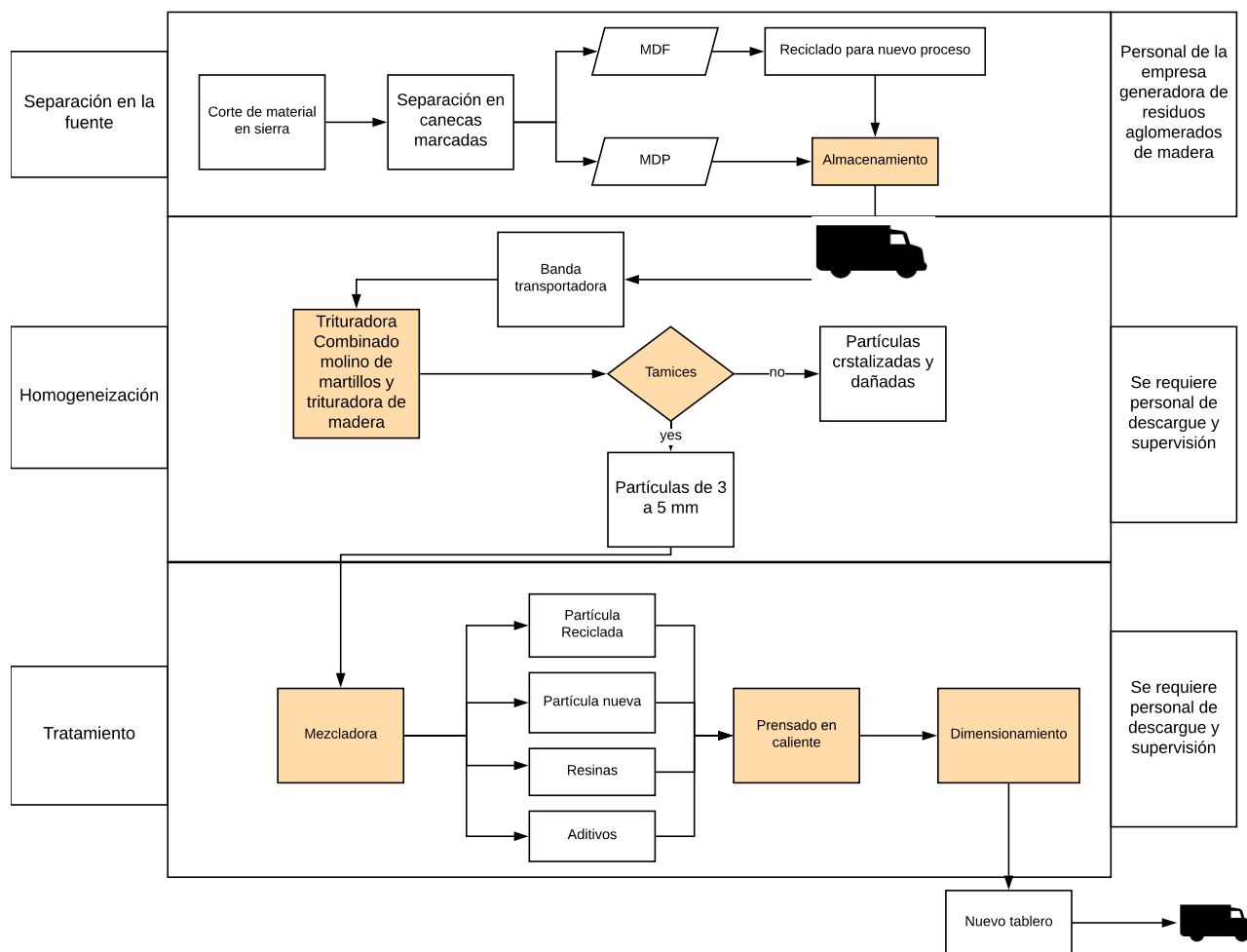


Figura 32. Diagrama de procesos de adaptación tecnológica.

- *Separación en la fuente:* La separación en la fuente se realiza dentro de la empresa generadora de residuos, Madecentro Colombia S.A.S, realizando una campaña de concientización y manejo de residuos. proceso inicia con la implementación de canecas de residuos con su identificación, de esta forma tenemos la seguridad de tener el material para su aprovechamiento y disposición final sin contaminantes de otros materiales que se introducen en

el sistema. Tres recipientes, MDF, MDP, Plásticos y PVC. Estos recipientes permiten albergar aproximadamente entre 300 y 400 kg de material residual.

Se genera un programa de recolección para generar un nuevo aprendizaje al trabajador en su importante labor de corte de lámina, donde se puede realizar la separación de residuos, y generarse como medida normativa en cada punto de venta. La responsabilidad de este proceso está supervisada por el administrador del almacén, la empresa proveerá los recursos para tener los recipientes de forma que puedan realizar la actividad en la zona de corte.

Contempla el transporte interno, el almacenamiento temporal y el transporte por parte de los gestores externos.

Según la norma técnica Colombiana de recolección de desechos (Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación, 2009), dicta, que las rutas internas de transporte deben garantizar que se recolecte la totalidad de los residuos generados, la frecuencia en este de recolección sería de forma semanal, esto depende también de la cantidad de material procesado dentro del punto de venta, su categoría en ventas. Debe contar con la correcta señalización para su acopio temporal, permanecer en orden y aseo, no estar ubicado en un área a la intemperie, contar con equipos adecuados de extinción de incendios y con fecha de vencimiento válida.

Se proponen una serie de capacitaciones dentro del almacén donde el personal en general tenga el conocimiento de la totalidad del proyecto, sus alcances y objetivos, esto con el fin de concientizar la necesidad de realizar un tratamiento adecuado de los recursos de madera aglomerada que se están generando dentro de la empresa y su daño al medio ambiente al llegar a los vertederos municipales.

Se plantea en la capacitación dirigida a los cortadores de tablero y al personal de bodega, enseñales la identificación de los recipientes y por qué debe realizarse la separación en la fuente

de manera ordenada y específica, y las zonas de almacenamiento temporal de material para su posterior recogida por el ente externo.

Tabla 12

Plan de capacitación de personal para la separación en la fuente de residuos.

Nombre	Ubicación	Tiempo/ cant	Recursos	Dirigido a/ responsable
Presentación de programa	Gerencia general	2 horas	video beam, sillas, auditorio	Gerencia, administradores y capacitadores de zona
Presentación de programa	Puntos de venta	1 hora	video beam, sillas, auditorio	Todo el personal en el punto de venta
capacitación puntual cortadores y personal de bodega	Puntos de venta	30 minutos	video beam, sillas, auditorio	Cortadores y personal de bodega
Recursos				
Recipientes recolectores	Puntos de venta	3 recipientes	3 recipientes por cada punto de venta, identificados adecuadamente	Administrador punto de venta
Demarcación de zona	Puntos de venta		zona de almacenamiento temporal de recipientes, demarcación de zona	Administrador punto de venta

De acuerdo a los requerimientos de almacenamiento temporal dentro de la empresa se tiene que de acuerdo al Decreto 2676 de 2000, “es la acción del generador consistente en depositar segregada y temporalmente sus residuos, por un tiempo determinado con carácter previo a su aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final.”(Leiton Rodriguez & Revelo Maya, 2017) Lo cual se debe tener considerado en el programa de capacitación de empleados y el programa de separación en la fuente.

- *Homogeneización:* La homogeneización del material es necesaria por las variables físicas que se determinan anteriormente en el proyecto, los residuos tienen diferentes tamaños y formas, deben ser unificados con el objetivo de tener una partícula homogénea, útil para usar en un nuevo proceso de transformación.

Para este proceso se propone a la empresa Herman Kingman M&E Complete Plant Co, exportadora de maquinaria especializada, genera una tolva compuesta por un molino de martillos, adecuada para moler tallos, hierbas, conchas, cortezas, etc., y astillas de madera, virutas, diámetro de ramificaciones de madera, adecuada para triturar madera cruda. Después del tratamiento, el tamaño de salida puede alcanzar un diámetro de 3-5 mm, (Co, 2018)(“MOLINO DE MARTILLOS 100 kG/h a 300 kG/h,” n.d.), como se puede observar en la figura 34, la maquina cuenta con un canal de inserción de material que permite suministrar piezas de madera, según lo determinado en los requerimientos del proyecto, y a su vez obtener el material triturado directamente en recipientes para su posterior manejo. En la tabla 13, se observa la capacidad de la máquina, la cual suple el requerimiento de 2000 Kg recolectados semanalmente por punto de venta, y presenta las dimensiones de la máquina, para la cual es necesario tener un espacio mínimo de 3 metros cuadrados para su uso, figura 33.



Figura 33. Trituradora (Co, 2018)

Tabla 13

Características Molino triturador, (Co, 2018)

Modelo	FSJI	FSJII
Capacidad	500-600 kg/ hora	700- 800 Kg/hora
Motor	18.5 kw	30 Kw
Dimensiones	1550x1150x1950 mm	18050x1350x2050 mm
Peso bruto	650 Kg	850 Kg

• *Tratamiento:* El material suministrado en la homogeneización tiene unas dimensiones aproximadas de entre 3 a 5 mm por partícula de diferentes clases: a) partículas de madera recubiertas con resinas urea formaldehído, b) partículas de madera recubiertas con resinas urea fenol formaldehído, c) partículas sueltas de resina fenólica, y D) partículas nuevas libres de químicos, que son extraídas de triturar tableros de MDP. Teniendo en cuenta esta composición, se plantea en este proyecto generar un nuevo proceso de prensado que permita tener un subproducto beneficiado por la nueva materia prima generada. El prensado en caliente es el proceso que, por su maquinaria industrial factible en la región, por su posible implementación y baja complejidad es escogida como proceso de adaptación en Bucaramanga para el reciclaje del tablero MDP.

Existen actualmente diferentes formas de realizar el proceso de prensado en caliente, la más conocida y utilizada en el mercado de los laminados de madera es el prensado en caliente por rodillos y planchas, por otro lado, recientemente se genera una maquinaria de prensado de bloques de aglomerado de madera, por presión, calor y extrusión de material.

Primero, el prensado por rodillos se utiliza maquinaria robusta, en una prensa continua para dar mayor uniformidad al tablero de madera, como se puede observar en la figura 34, donde se

observa una prensa de rodillos para crear un tapete de partículas en un molde de placas metálicas.



Figura 34. Prensa de rodillos para tableros aglomerados, foto: Wood Based Panels, (United States Environmental Protection Agency, 2002).

Por otro lado, en la figura 35 se puede observar un sistema de presión donde se realiza extrusión de material aglomerado en forma de bigas para una nueva utilización de la materia prima. El tamaño del bloque de 90 * 90 mm, 90 * 100 mm, 100 * 100 mm, 80 * 90 mm según se desee obtener, (Pallet, 2018).

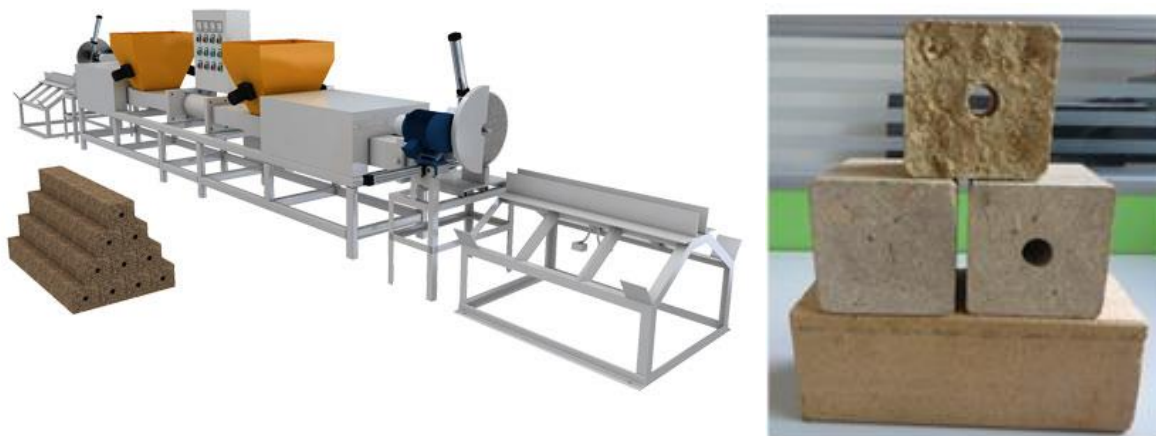


Figura 35. Maquinaria de prensado en caliente para generar bigas de material comprimido, (Pallet, 2018)

La máquina de compresión hidráulica funciona de la siguiente manera para generar bloques, (Pallet, 2018):

1. El cilindro hidráulico proporciona alta presión y empuja el pistón para extruir y moldear el material de desecho.
2. El calentamiento de la placa a alta temperatura promueve la solidificación y el moldeado del pegamento.
3. Después de enfriar, se cortan las tiras de material comprimido.
4. La densidad del producto final podría llegar a 550-1000 kg / m³.

Este mismo sistema es usado para hacer bloques, por otra empresa llamada Briquette Systems, como lo podemos ver en la figura 36 y 37, donde en un proceso sencillo se generan bloques de madera con ciertas ventajas de uso, como:

- Funciona con una persona supervisando el proceso
- Operado hidráulicamente

- Programado por un controlador lógico programable (PLC)
- Briquetas de madera resultantes.
- Diseño compacto.
- Diseñado para operación automática las 24 horas con baja potencia



Figura 36. Maquina procesadora de partículas de madera para generación de bloques, Briquette machine.(Systems, 2016)



Figura 37. Maquinaria de presión de material aglomerado para la creación de cubos de madera. (Systems, 2016)

Esta maquinaria de presión y extrusión funciona de la siguiente manera (Systems, 2016):

1. El material de desecho industrial se carga en la tolva de alimentación y un transportador de tornillo en la tolva alimenta el material a una cámara de precarga. Un controlador lógico programable (PLC) calcula el tiempo de funcionamiento del transportador de tornillo en cada ciclo. El tiempo de funcionamiento del transportador de tornillo mantiene una longitud de briquetas constante.

2. El PLC ajusta el tiempo del ciclo del transportador de tornillo si cambia el tamaño de partícula o la densidad del material, asegurando que la cantidad correcta de material se cargue en la cámara del pre-cargador. A continuación, el pre-cargador empuja el material dentro de una cámara de prensado y el pistón de prensado principal comprime el material en uno de dos troqueles en un molde de prensado. El pistón comprime el material en una briketa densa hasta que alcanza un valor de compresión preestablecido.

3. La briquetadora está equipada con eyectores que corren paralelos al pistón de la prensa principal a cada lado. Los expulsos empujan la briketa terminada a través de los orificios de eyección.

Por otro lado, un elemento importante a tener en cuenta es la utilización de adhesivos naturales, los cuales son actualmente muy estudiados, entre los que se encuentra por ejemplo los adhesivos de proteínas a base de animales que son usados comúnmente en la industria maderera, ya que se usa para el encolado de estas, la unión de tablas para la formación de paneles, para adherir lienzos a tablas, entre otros, (Moles, 2002). La cola de pescado es un pegamento a base de proteínas similares a la de las pieles y huesos de pescado. La caseína es usada en la industria cigarrera para la unión de la costura de papel de cigarrillo. Se proporciona una unión de ajuste rápido, que requiere muy poco adhesivo. Los adhesivos a base de proteínas vegetales, son

obtenidas a partir de harinas, polvo o extractos de cereales amasado, calentados o hervidos con agua (ALARCÓN ENOS, Julio Enrique, NÚÑEZ DECAP, Mario Antonio, BALLERINI ARROYO, 2017). Entre otros más que son estudiados en la actualidad para reemplazar el formaldehído como adhesivo en productos domésticos como los analizados en este proyecto.

4.5 Viabilidad de la propuesta según requerimientos de adaptabilidad.

La viabilidad es la medida del beneficio obtenida en una organización gracias al desarrollo de un sistema (Universidad de Jaen, 2008), por lo cual, se plantea en este proyecto un análisis de viabilidad desde el reconocimientos de los requerimientos del sistema en su estado óptimo.

Se analiza la viabilidad del sistema desde cuatro frentes, la viabilidad técnica, la viabilidad operativa, la viabilidad medio ambiental y la viabilidad económica, las cuales se presentan y describen en la tabla 14.

La viabilidad técnica del sistema va directamente relacionada con el riesgo en el desarrollo del sistema, dependen de las funciones, el rendimiento, disponibilidad de los recursos y la tecnología.

La viabilidad operativa está representada por el aporte del sistema desde el punto de vista de la resolución del problema planteado, en este caso el reciclaje de los residuos de material aglomerado MDP, además del beneficio prestado a los usuarios, el aporte económico que deja a la empresa, y la eficiencia del recurso obtenido.

Desde el punto de viabilidad medio ambiental el proyecto es viable al suplir la necesidad de recuperación de residuos sólidos que son desechados a los vertederos municipales sin tratamiento, se generan nuevos productos con los cuales se disminuye el impacto de ambiental por el consumo de recursos naturales como la madera.

Tabla 14
Estudio de viabilidad.

Estudio de viabilidad					
		Descripción del problema	Viabilidad		Justificación
			SI	NO	
Viabilidad Técnica	Funciones	Se presentan emisiones de material partícula en ambiente no controladas que generan problemas a la salud	x		El proceso no presenta emisiones de material particulado en su ejecución
		Se tiene un producto de tamaños y formas diferentes, difícil de clasificar	x		En el proceso de transformación determina la homogeneización del material como proceso primario y necesario para la realización de cualquier proceso industrial de producción.
	Rendimiento	En el proyecto se calculó en dos almacenes una producción de residuo de 2000Kg mensuales. En 112 almacenes del país se logra suficiente material residual para determinar como capacidad industrial la producción.	x		Capacidad Industrial, se genera maquinaria para transformar material de residuos. La capacidad del proceso es adecuada con la cantidad de material que se espera obtener en los diferentes puntos de transformación de tablero aglomerado por Madecentro Colombia S.A.S.
	Recursos	Los recursos madera es el principal afectado en la generación de tablero aglomerado	x		Permite suplir el gasto ambiental que produce generar un producto con recursos naturales vírgenes
	Tecnología	No se a planteado por desconocimiento o desinterés la necesidad de realizar un proceso tecnológico que convierta el residuo de aglomerado en materia prima en Bucaramanga	x		La tecnología que se propone está a la disposición de la región, así como el personal y la facilidad de los repuestos y accesorios necesarios para su mantenimiento.
Viabilidad Operativa	Aporte en el reciclaje de residuos	Se encuentra material de residuo en toda empresa dedicada a la transformación de tablero aglomerado para el sector del mueble y madera.	x		Se propone una forma de transformación de residuos de material aglomerado de madera, donde realizando la homogeneización se obtiene una materia prima que se puede introducir en un proceso mecánico de prensado en caliente para reducir la cantidad de materia prima virgen en el sistema.

Viabilidad Ambiental	Beneficio al usuario	Afectación social estimada en la generación de plagas, enfermedades y basuras para vecinos y trabajadores	x	El proceso plantea la separación de residuos en la fuente, la recolección del material y transformación del mismo en materia prima recuperada, y posterior utilización en un producto comercialmente útil, lo cual provoca la mitigación de material residual dentro de la empresa y fuera de la misma.
	Aporte económico a la empresa	La nula rentabilidad prestada por el residuo para la empresa y para el medio ambiente	x	La empresa se ve beneficiada por la mitigación de la cantidad de residuo, y el riesgo a multas económicas que este acarrea en procesos legales.
	Eficiencia del recurso	Residuo sin ser utilizado.	x	E100% del material residual MDP es homogeneizado y procesado para convertirse en materia prima utilizable.
	Uso del recurso natural Biológico	El principal componente de los tableros aglomerados es el recurso biológico madera, para el cual se realiza la tala de bosques controlados.	x	Al realizar un proceso de transformación del residuo se está ingresando este a un nuevo ciclo de vida de recuperación, alargando su vida útil y mitigando necesidad de uso de material virgen de madera como único recurso natural empleado.
	Almacenamiento de residuos	Acumulación excesiva de residuos dentro de cada punto de venta	x	Se realiza la separación en la fuente para clasificar el material, convirtiendo el producto en materia prima se hace atractiva la necesidad de recolección con mayor frecuencia y mejor almacenamiento del mismo.
	Reducción de bodegaje	Se mantiene el material dentro de la bodega de almacenamiento de material para procesar, ocupando espacio y generando posibles plagas	x	El espacio de bodegaje se reduce al tener mayor frecuencia de recogida de material y al convertirse en materia prima aprovechable.
Viabilidad Económica	Gasto medio ambiental	El gasto medio ambiental se genera con el uso de recurso natural.	x	Al reutilizar material de residuo se reduce el gasto ambiental de uso de arboles en estado virgen.
	Estrategias de ingresos	Impacto económico en la empresa y los clientes	x	Uno de los ingresos para empresa es la anulación del pago mensual de cuota por recolección de aseo público que se realiza actualmente, y el posible beneficio económico si el material de residuo se convierte en materia prima necesaria para un proceso futuro. Lo cual plantearía a futuro la venta del residuo o si la empresa lo procesa tendría la materia prima gratis del nuevo producto.

Impacto en otros productos de la empresa	El material de residuo tiene un impacto negativo en el espacio de almacenaje, en la apariencia del almacén y en la imagen negativa y contaminante que se refleja ante el vecindario y los clientes.	x	El impacto en otros productos dentro de la empresa se plantea como positivo, en primer lugar por la imagen ambiental proyectada a cliente y el valor agregado económico positivo que se suma al residuo.
Coste de recursos para el desarrollo del proyecto	Costos de generación de la idea.	x	La maquinaria requerida es factible adquirirla a nivel regional, así mismo, el recurso humano y la capacitación. No se necesita una infraestructura o un espacio mayor a 15 metros cuadrados para su ejecución
Riesgo legal por multas	Posibles sanciones ambientales a las cuales está expuesta la empresa teniendo en cuenta la normatividad y legislación ambiental, sumando los costos de contingencia ambiental.	x	Se mitiga la cantidad de material residual dentro de la empresa, y las posibles afectaciones en el vecindario por material en los alrededores del almacén, realizando la correcta gestión del residuo.

Dentro del análisis de viabilidad se consideran también los riesgos del sistema, en el peor de los casos posibles, donde se puede presentar que, a) la tecnología no sea la correcta, b) pueden surgir problemas legales no previstos dentro del sistema, c) El equipo de capacitación podría no tener los conocimientos necesarios para impartir dentro de los grupos de trabajo, d) los recursos económicos no sean los que se requieren, por consiguiente, no se pueda llevar a cabo el proyecto, e) los dueños de la empresa pueden encontrar complicado el uso del nuevo sistema, y f) podrían no ocurrir mejoras esperadas en la participación del mercado.

Por último, la viabilidad económica, es un punto clave en la realización del proyecto, donde se analiza la estrategia de generación de ingresos (largo plazo), el impacto en los otros productos producidos por la empresa, y el coste de recursos para la realización del proyecto.

En total como se puede ver en la figura 38, la maquinaria de homogeneización y la maquinaria del proceso o tratamiento, lo cual es viable sabiendo que las pérdidas y daños

ambientales ya realizado por material residual de MDP, actualmente son incalculables, además la empresa tiene que realizar el pago mensual de recolección de residuos por las empresas de aseo de cada ciudad, estimando un valor mensual de COL\$4.800.000= mil.

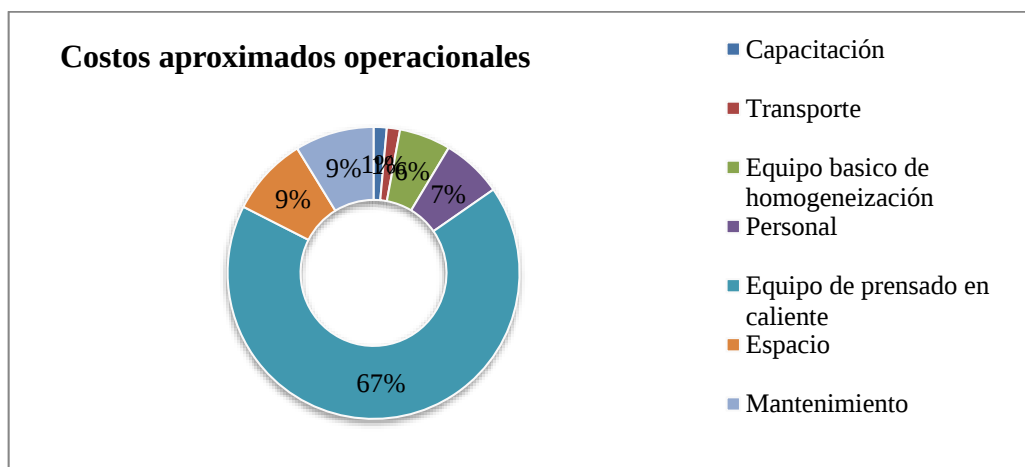


Figura 38. Costos operacionales aproximados.

5. Usos de la adaptación Tecnológica.

5.1 Proyectar los usos para el producto resultante.

El sector del mueble en Colombia ha transformado su forma de realizar la carpintería. Desde la aparición del aglomerado, los carpinteros se han convertido en armadores de muebles de laminados de madera, la tarea ha cambiado al mismo tiempo que el producto. Así el mercado ha crecido, las ventas anuales hacia el sector constructor representan en promedio 30% , de los cuales el caso de muebles son el 64% según Camacol Colombia, porque hay una gran demanda de obras arquitectónicas que requieren la construcción,(Comercio, 2016). Por lo cual, empresas como Madecentro, han abarcado el mercado de comercialización de tableros de madera en el país. Otras empresas, como se puede ver en la tabla 15, a nivel nacional tienen la misma razón social para la distribución y transformación de aglomerados de madera.

Tabla 15

Empresas representativas del sector del mueble y madera en Colombia.

Empresa	Cobertura
Madecentro	Nacional
Masisa	Nacional
Madeflex	Nacional
Pizano	Nacional
Homecenter	Nacional
Ardisa	Santander
Primadera	Nacional

Estas empresas cuentan con procesos de maquilado de tablero aglomerado similar al utilizado por Madecentro Colombia S.A.S y de la misma manera, no cuentan con un proceso de separación y de reciclado de producto residual de tablero de madera. De las anteriores empresas, Primadera es la que muestra tener un proceso de reciclado, abierto a la posibilidad de realizar nuevos tableros con material residual de madera proveniente de tableros residuales, con el proceso de prensado en caliente.

En el caso del prensado en caliente y extrusión, sigue siendo un desarrollo artesanal, rápido de realizar, las opciones de uso pueden variar, siendo implementados en la realización de viviendas de interés social, en la implementación en construcciones livianas o en el ámbito decorativo, o en generación de marcos de puertas. Empresas interesada como Doors and toops, especializada en la producción de puertas, quienes procesan sus productos en Colombia y los distribuyen a todo el país, (Tops, 2018), con esto se evitaría la utilización de madera virgen en este tipo de productos, como se puede ver en la figura 39, donde el producto de pino es utilizado como marco de

resistencia para puertas. Doors and tops, ya tiene un producto de marcos para puertas realizados con aglomerados que prueban la resistencia mecánica y uso factible del aglomerado reciclado en estos casos.

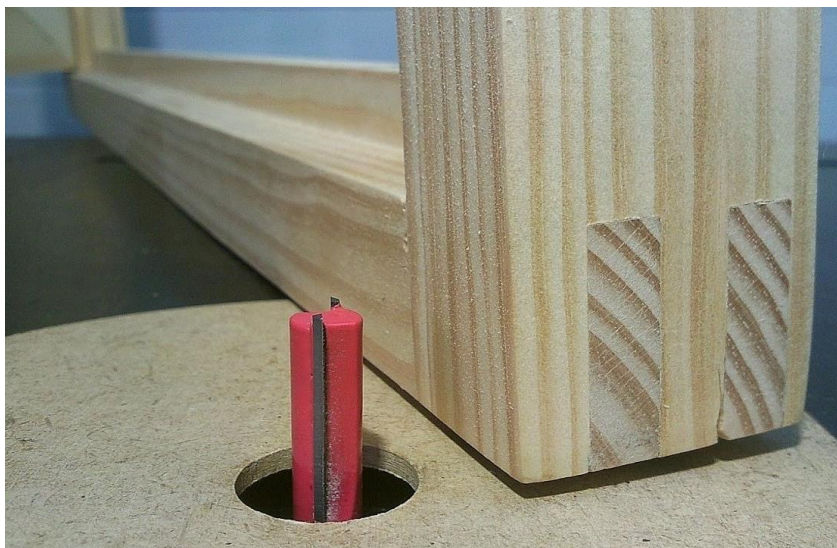


Figura 39. Marco de puerta en madera de pino, (Toops, 2018)

5.2 Análisis de costo medio ambiental- beneficio del uso del producto.

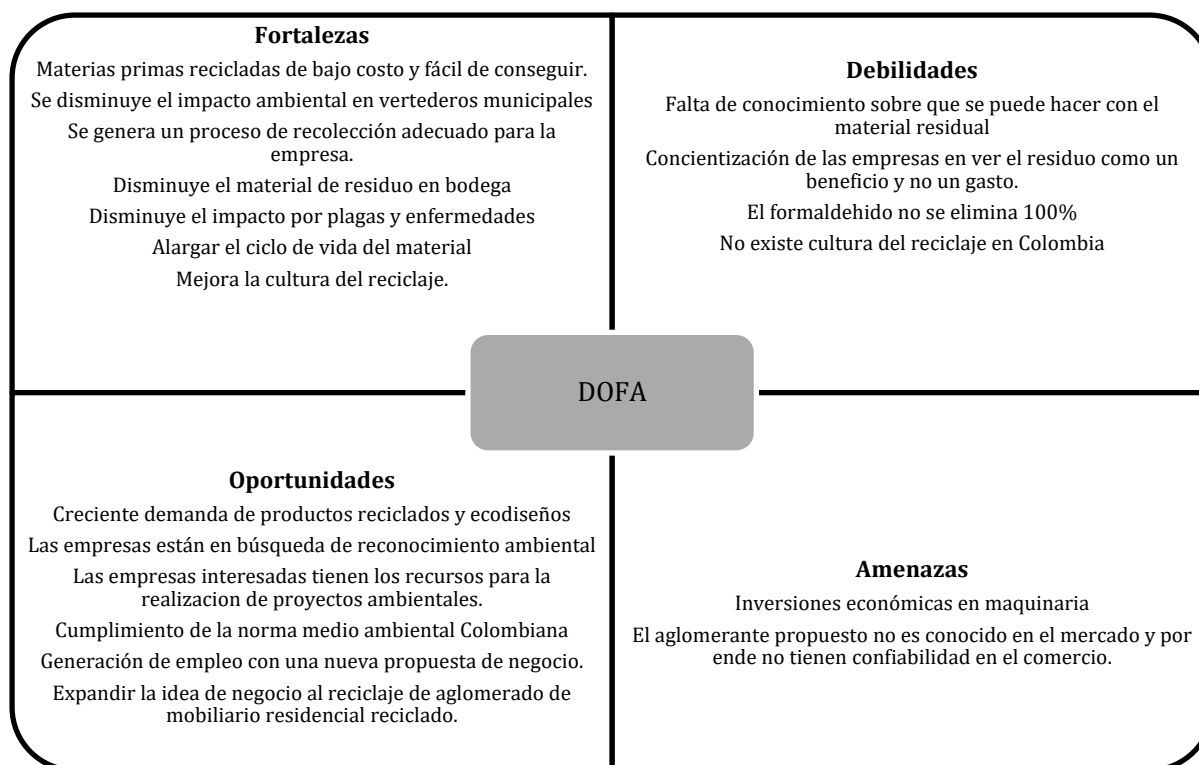
Dentro del proceso de análisis se realiza una evaluación con la matriz de impactos ambientales de Leopold, donde se evalúan las diferentes situaciones del proceso contra las características o condiciones ambientales susceptibles a alteraciones, donde podemos encontrar alteraciones al suelo, aire, agua, y afectaciones a la cultura. Con esto, se detectan los puntos débiles a tener en cuenta para la futura implementación del proceso, como se puede ver en la tabla 17, donde los procesos de mayor estudio debe ser el transporte, la salud y seguridad, la generación de residuos sólidos y el almacenamiento de estos residuos por tiempos prolongados.

Tabla 16
Matriz Leopold.

Magnitud: 1-10 Importancia: 1-10			1. Separación en la fuente				2. Homogeneización			3. Proceso de prensado en caliente							
Valoración	Magnitud: 10 = Grande, 5 = Medio, 1 = Pequeña	Importancia 1 = Nada, 10 = Alta	correcta separación dentro del lugar de producción de residuos	Traslado de productos dentro de la ciudad	Descarga de productos en lugar de homogeneización	Mantenimiento de vehículo	abastecimiento de maquinaria con material residual	Energía eléctrica consumida por uso de	Mantenimiento de maquinaria trituradora	Eliminación de desechos	Mantenimiento de maquinaria	Consumo de energía eléctrica y térmica	Almacenamiento de producto terminado	Empaquetado de material producido	Total Acciones		
Factores Ambientales																positiva	negativa
A. Características físicas y químicas	1. Tierra	Deterioro del suelo	9 10							8 8					1	1	
	2. Agua	Superficial				3 3			3 3		7 3				0	3	
	3. Atmósfera	Calidad del aire (gases, partículas)		7 9	5 5		5 5		5 5	9 5					0	5	
	4. Procesos	generación de ruido		3 3	3 3		3 3								0	3	
B. Condiciones de la materia prima	1. Triturado	árboles								9 5					0	1	
		aditivos													0		
C. Factores culturales	1. Uso de la tierra	Contaminación de espacio público		9 9						9 9					0	2	

		Acidificación	9											1	1			
	2. Aspectos culturales	Patrones culturales (estilo de vida)	9													1	1	
		Empleo	9	9	9			9			9			9	5	0		
		Salud y seguridad	9	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9		5	6	
	3. Facilidades y actividades humanas	Red de transporte	9		9												2	0
		Manejo de residuos	9	9	9			9			9					1	4	
	Relaciones Ecológicas	eutrofización	9	6							9							2
																	18	27

Se genera la matriz DOFA de ventajas y desventajas, con el fin de realizar una última validación del proceso, con respecto a las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas del sistema en su utilización, como se puede ver en la figura 40, donde encontramos una de las principales fortalezas es el reciclado de los residuos para la generación de materia prima para un nuevo proceso, por otro lado la disminución de los impactos ambientales alargando la vida útil del material en el uso comercial. Así mismo, como debilidad primordial es la no eliminación del formaldehído al 100%, por lo cual el material sigue siendo un problema a largo plazo.

*Figura 40.* Matriz DOFA del proceso.

Conclusiones

En la primera fase de revisión, se realizó a partir de la búsqueda en bases de datos como Scopus, Elsevier y la literatura gris en Google académico y se obtiene como principal hallazgo un total de once procesos de transformación de residuos de material aglomerado de madera desarrollados en el mundo, además, se identifican datos de la afectación ambiental del formaldehído en la madera y sus emisiones aire, suelo y agua, por lo cual la búsqueda realizada fue una fuente de información valiosa para el desarrollo del proyecto.

En la segunda etapa del proyecto, de prueba de peso y análisis comparativo de perfiles ambientales de los dos productos, MDF y MDP, se determina que el MDP es el material que produce mayor cantidad de residuos, estimando que en un mes se genera un aproximado de 2000 Kg de material de desperdicio en dos almacenes de Bucaramanga, de los cuales 1283 Kg son de MDP y 749 Kg son de MDF. A su vez, con los comparativos de perfiles ambientales, se concluye que este producto tiene mayor impacto ambiental en términos de eutrofización y acidificación de suelo en vertedero, el porcentaje de acidificación del MDP es del 82%, comparado con un 18 % del MDF, de la misma manera el porcentaje de Eutrofización en el MDP es de 74% y en el MDF de 26%.

Con la propuesta de adaptación tecnológica se determina una etapa inicial de separación en la fuente del material, seguido por una homogeneización del producto que permita obtener una partícula de tamaño entre 3 a 5 mm, la cual se procesa por prensado en caliente para obtener viguetas o paneles de madera, generando un sistema viable para el sector productivo de la madera en Bucaramanga y la región, con la capacidad de procesar material de residuo.

En la última fase del proyecto de análisis de viabilidad de la adaptación tecnológica en Bucaramanga, se encuentra como oportunidad la generación de materia prima de bajo costo, además de poder mitigar un problema general de las empresas y el beneficio de generar un impacto ambiental positivo en la ciudad, con la transformación de más de 2000 kg de material residual y contaminante destinado a los vertederos municipales.

Por último, el proyecto presenta un sistema de reusó de tablero aglomerado de madera adaptable a la región de Bucaramanga, el cual por su viabilidad permite ampliar la posibilidad de nuevos productos que reemplazan los procedentes de material virgen de madera, disminuyendo el impacto ambiental en vertederos y la generación de emisiones perjudiciales en el medio ambiente.

Recomendaciones

En el análisis de los diferentes procesos, se encuentra que para investigaciones futuras se sugiere la posibilidad de realizar combinaciones de procesos, para aumentar la eficiencia, y poder definir formas de eliminar al 100% el formaldehído de la partícula de madera, y así, poder ser utilizada en otros procesos naturales, además de eliminar la amenaza de eutrofización de suelo al ser desechado el producto.

Se propone desarrollar una nueva investigación donde se experimente en laboratorio con los procesos propuestos en este trabajo y precisar datos de descontaminación de formaldehído de la partícula de madera. Y un nuevo estudio de compatibilidad y reacción de la sacarosa como aglomerante natural con la partícula impregnada de urea formaldehido, en la realización de nuevos productos por prensado en caliente, e identificar las propiedades que se presentan en la nueva partícula, ya que no se encuentra literatura de aplicabilidad de aglomerantes naturales en material residual aglomerado.

Se recomienda a la empresa Madecentro Colombia S.A.S realizar un estudio de gestión integral para el manejo de residuos sólidos, donde se determine con mayor detalle el proceso de recolección y manejo de residuos dentro de la empresa, realizando programas de educación y formación del empleado, salud ocupacional y plan de contingencia ante situaciones de riesgo por residuos de madera, con el fin de mitigar el impacto que se está generando dentro y fuera de la empresa con material particulado y material de residuo de tablero aglomerado, así mismo, con un plan de seguimiento y control de indicadores.

Referencias Bibliográfica

Agency, E. P. (2016). *Formaldehyde Emission Standards for Composite Wood Products*. Washington DC. Obtenido de: <https://www.federalregister.gov/documents/2016/12/12/2016-27987/formaldehyde-emission-standards-for-composite-wood-products>

Alarcón, J.E., Nuñez M.A. & Ballerini A.A. (2017). *Estracto adhesivo a base de levaduras, composición y procedimiento*. España. Consultado el 20 de Mayo de 2018 de la base de datos: http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/61/89/ES-2618910_T3.pdf

ANFTA Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros. (n.d.). *La senda responsable*.

Antonio, F., Lahr, R., Junior, H. S. & Fiorelli, J. (2015). *Non-conventional building materials based on agro-industrial wastes*.

Barkoula, N. M., Alcock, B., Cabrera, N. O., & Peijs, T. (2008). *Fatigue properties of highly oriented polypropylene tapes and all-polypropylene composites*. *Polymers and Polymer Composite*. 16(2), 101–113. Consultado el 16 de Julio de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.1002/pc>

Becerra, J. (2013). *Análisis Energético y Ambiental en la producción de tableros de esterilla de guadua laminada, 1–100*. Consultado el día 16 de julio de 208 de la base de datos: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Benthien, J. T., Heldner, S., & Ohlmeyer, M. (2017). *Investigation of the interrelations between defibration conditions, fiber size and medium-density fiberboard (MDF) properties*. *European Journal of Wood and Wood Products*, 75(2), 215–232. Consultado el 20 de Junio de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.1007/s00107-016-1094-2>

Bovea, M. D., & Vidal, R. (2004). *Materials selection for sustainable product design: A case study of wood based furniture eco-design*. *Materials and Design*. 25(2), 111–116. Consultado el

20 de junio de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2003.09.018>

C-tech. (2018). *Dielectric heating for efficiency*. Obtenido de: <http://www.ctechinnovation.com/technological-expertise/ohmic-heating>

Chen, S., Li, S., Mu, J., & Feng, Y. (2015). *Influence of Urea Formaldehyde Resin on the Pyrolysis Characteristics and Gas Evolution of Waste Mdf*. *Wood Research*. 60(1), 113–124.

Cobut, A., Blanchet, P., & Beauregard, R. (2013). The environmental footprint of interior wood doors in non-residential buildings - part 1: Life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 1–13. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.079>

Contenido, I. R. A. L. (2014). Asamblea de Accionistas.

Declaration, E. P. (2017). Environmental product declaration for medium density fibreboards (MDF) and for melamine faced medium density fibreboards (MDF).

EPD. (2018). EPD Environmental Product Declaration.

Eroski consumer. (2006). El calentamiento óhmico para la conservación de alimentos. Obtenido de: <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-y-tecnologia/2006/07/19/24373.php>

Finsa. (2017). Environmental Product Declaration for Particleboard and for melamine faced particleboards, 1–27.

Fronti de García, L., & Cuesta, C. (2007). *El protocolo de kioto y los costos ambientales*. *Revista Del Instituto Internacional de Costos*. 1, 9–31. Obtenido de: <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3362188.pdf>

Garcia, C. A., & Hora, G. (2017). *State-of-the-art of waste wood supply chain in Germany and selected European countries*. *Waste Management*. 1–9. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.025>

H.M.C.P. Co. (2018). Molino de martillos. Obtenido de:
<http://www.plantaspeletizadoras.com/Molino-de-martillos.html>

Ihnát, V., Lübke, H., Russ, A., & Borůvka, V. (2017). *Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards Part I. Preparation and characterization of wood chips in terms of their reuse. Wood Research.* 62(1), 45–56. Consultado el 20 de Junio de 2018 de la base de datos : <https://www.scopus.com/inward>

Industria, S. (2016). 2016 Annual Report and Accounts, 180. Obtenido de:
<http://www.tulloil.com/Media/docs/default-source/2016-Annual-Report-Accounts/2016-Annual-Report-Accounts.pdf?sfvrsn=18>

Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. (2009). *Norma técnica Colombiana GTC 24: Gestión ambiental. Residuos Sólidos y guía para la separación en la fuente.* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (571), 1–18. Obtenido de:
[http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC 24 DE 2009.pdf](http://www.bogotaturismo.gov.co/sites/intranet.bogotaturismo.gov.co/files/GTC%2024%20DE%202009.pdf)

Jin, X. J., Zhang, M. Y., Wu, Y., Zhang, J., & Mu, J. (2013). *Nitrogen-enriched waste medium density fiberboard-based activated carbons as materials for supercapacitors. Industrial Crops and Products.* 43(1), 617–622. Consultado el 20 de Junio de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.006>

Kercher, A. K., & Nagle, D. C. (2002). *Evaluation of carbonized medium-density fiberboard for electrical applications. Carbon.* 40(8), 1321–1330. Consultado el 20 de Junio de 2018 de la base de datos: [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(01\)00299-8](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(01)00299-8)

Kitek Kuzman, M., & Kutnar, A. (2014). *Contemporary Slovenian Timber Architecture for Sustainability.* 17–39. Consultado el 20 de Junio de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03635-9>

Leiton Rodriguez, N., & Revelo Maya, W. (2017). *Gestión integral de residuos sólidos en la empresa CYRGO SAS*. XVIII(2), 103–121. Consultado el 25 de Julio de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.22267/rtend.171802.79>

Leungprasert, S., & Otten, L. (n.d.). Fate of Formaldehyde in MDF Sawdust during MSW Composting. *Water*.

Licona, E. C. (2006). *Gestión Integral de residuos sólidos*. Honolulu, Hawaii: Atlantic International University. Consultado el 25 de Julio de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/UM2880SSI7147>

Madecentro. (2017). Madecentro. Obtenido de: <https://www.madecentro.com/>

Mantanis, G., Athanassiadou, E., Manuel, J., Coutinho, A., Nakos, P., & A.C.H.S. (n.d.). *Dept . of Wood & Furniture Technology and Design , TEI Larissas , Greece AIRES COUTINHO R & D Ltd ., Caldas da Rainha , Portugal*.

Masisa. (2015). Masisa Química. Obtenido de: <http://www.masisa.com/col/>

McMahon, V., Garg, A., Aldred, D., Hobbs, G., Smith, R., & Tothill, I. E. (2008). Composting and bioremediation process evaluation of wood waste materials generated from the construction and demolition industry. *Chemosphere*, 71(9), 1617–1628. Consultado el 25 de Julio de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.01.031>

Ministerio del Medio Ambiente. *Política Nacional de Producción más Limpia* (1997). Colombia. (1–43). Extraído de: http://www.crc.gov.co/files/Respel/Politica_PL.pdf

Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Transporte y Ministerio de Defensa (2011). *Conpes*.

Moles, M. M. A. (2002). *La química de la restauración: los materiales del arte pictórico*. (Nerea, Ed.). Molino de martillos 100 kg/h a 300 kg/h. (n.d.), (2), 7387.

Network, H. B. (2008). Alternative Resin Binders for Particleboard, Medium Density Fiberboard (MDF), and Wheatboard. *Global Health & Safety Initiative*, (May), 1–6.

Novopan. (2018). Novopa. Obtenido de: <http://www.novopan.com.ec/>

Oudjehane, Azzeddine, Frank Lam, S. A. (1997). Forming and pressing processes of random and oriented wood composite mats. *Elsevier*, 1–5. Consultado el 25 de Julio de 2018 de la base de datos: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(97\)00028-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1359-8368(97)00028-0)

Pallet, S. M. (2018). Pallet Block Machine. Obtenido de: http://www.palletmach.com/products/Pallet-block-machine.html?gclid=Cj0KCQjwibDXBRCyARIsAFHp4foHku_wVAoSqbJjkg9YN_4DaKeUqRvG3GWk6UK0hF_Hy1ArT-0udPwaAgI6EALw_wcB

Panel, W. B. I. (2012). Recycling MDF: are we there yet? *Recycling MDF: Are We There Yet?*, 1. Obtenido de: <http://www.wbpionline.com/features/recycling-mdf-are-we-there-yet/>

Park Byeong-Dae, R. R. M. (2016). Patent. Korean. Obtenido de: [https://patents.google.com/patent/KR101757858B1/en?q=\(mdf\)&q=\(recycle\)&before=priority:20180101&after=priority:20100101&oq=\(mdf\)+\(recycle\)+before:priority:20180101+after:priority:20100101](https://patents.google.com/patent/KR101757858B1/en?q=(mdf)&q=(recycle)&before=priority:20180101&after=priority:20100101&oq=(mdf)+(recycle)+before:priority:20180101+after:priority:20100101)

Peltola, J. S. P., Juhanoja, J., & Salkinoja-Salonen, M. S. (2000). Biodegradability and waste behavior of industrial wood-based construction materials. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 24(3), 210–218. Consultado el 25 de Agosto de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.1038/sj.jim.2900808>

Piekarski, C. M., de Francisco, A. C., da Luz, L. M., Kovaleski, J. L., & Silva, D. A. L. (2017). Life cycle assessment of medium-density fiberboard (MDF) manufacturing process in Brazil. *Science of the Total Environment*, 575, 103–111. Consultado el 25 de Agosto de 2018 de

la base de datos: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.007>

Primadera. (2016). Inauguración de Primadera, el nuevo fabricante de tableros MDP colombiano. Obtenido de: <http://www.notifix.info/es/noticias-es/fabricantes-tableros/36024-inauguracion-de-primadera-el-nuevo-fabricante-de-tableros-mdp-colombiano>

Pyrolysis, P. (2010). Local Technical Solution to Global Sustainability Issues. Obtenido de: <http://pacificpyrolysis.com/about.html>

Recovery, M. (2017). *MDF Recovery's innovative processing technology*. Obtenido de: <http://www.mdfrecovery.co.uk/technology/>

Rediba. (2016). *Normas que se deben cumplir para tener en cuenta en la recolección de servicios especiales*. Obtenido de: <http://www.rediba.net/level2.php?l1=Mw==&l2=MTI=>

Silva, D. A. L. (2012). *Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil, 207*. Consultado el 25 de Agosto de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.11606/D.88.2012.tde-31072012-121351>

Sostenible, M. (2018). *La Federación Europea de Asociaciones de Fabricantes de Tableros derivados de la Madera*. Obtenido de: <https://madera-sostenible.com/tablero/la-federacion-europea-asociaciones-fabricantes-tableros-derivados-la-madera-critica-apoyo-los-pellets/>

Spa, N., & Fauser, V. G. (2010). *Environmental Product Declaration. Energy*.

Systems, B. (2016). Briquetting Process. <https://www.ruf-briquetter.com/materials/wood-a-non-wood-biomass>

TCC. (2018). *Tcc y primadera: juntos por el reciclaje de la madera*. Obtenido de: <https://www.tcc.com.co/tcc-y-primadera-juntos-por-el-reciclaje-de-la-madera/>

Tops, D. and. (2018). Doors and Tops. Obtenido de: <http://www.doorsandtops.com/>

United States Environmental Protection Agency. (2002). *Wood Products Industry*, 1–29.

Universidad de Jaen. (2008). Planificación de sistemas informativos: Estudios de viabilidad.

Wang, S., Zhang, H., Nie, Y., & Yang, H. (2017). *Contributions of China's Wood-Based Panels to CO₂ Emission and Removal Implied by the Energy Consumption Standards*. *Forests*, 8(8), 273. Consultado el 02 de Septiembre de 2018 de la base de datos: <https://doi.org/10.3390/f8080273>

WBPI. (2013). *Prensa continua*. Obtenido de: <http://www.wbpionline.com/features/a-dramatic-recovery//image/a-dramatic-recovery-249714.html>

Zhong, R., Gu, J., Gao, Z., Tu, D., & Hu, C. (2017). *Impacts of urea-formaldehyde resin residue on recycling and reconstitution of wood-based panels*. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 78, 60–66. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2017.06.019>

Apéndices

Apéndice A. Protocolo prueba de peso de material aglomerado

Dentro del procesos de diseño metodológico del proyecto, se plantea la realización de una prueba de peso de material que genere resultados cuantificables de la cantidad de material que es desechado dentro la empresa Madecentro Colombia S.A.S, se establece primero unas visitas de observación, donde se recoge información relevante sobre el proceso analizado, esto se realiza en los tres puntos de venta donde se genera la prueba, como se puede observar en la tabla 16.

Tabla 17

Tabla de descripción de visita técnica a la empresa, Tabla generada por la Autora.

VISITA TÉCNICA MADECENTRO			
Nombre de la Empresa	Madecentro Colombia S.A.S		
Tipo de maquinaria utilizada	Sierra vertical		
Canecas designadas para la recolección de material desecho	Cinco canecas de 55 GALONES cada una		
Espacio asignado para recolección	Se asignó un área de 2 x 3 metros para colocar las canecas llenas de material de desecho.		
Quien recolecta el material	La empresa de aseo de Bucaramanga es la encargada de recolectar el material de desecho. Rediba S.A		
Tiempos de recolección	Miércoles y Sábados		
costo por recolección de material	\$20.076 mensual		
Separación en la fuente	si	no X	¿Cómo se realiza? No se realiza separación en la fuente, se deposita en las canecas todo el material retal de madera, plástico, entre otros.
Porcentajes de material recolectado a diario	Depende de las ventas realizadas, en promedio sin la separación de material se recolecta 1 caneca diaria de material de desecho		

Para la recolección de datos se realiza primero (a) la separación en la fuente del material, para lo cual se colocan tres recipientes, uno para la recolección de material MDP, otro para el material MDF y una tercera caneca con material de desecho plástico, entre otros. En segundo lugar (b) se establece la identificación de los recipientes con lo cual el operario de la maquinaria de corte puede depositar el material de desecho de manera separada, (c) se establece un protocolo en una

tabla de recolección de datos como se observa en la tabla 17, donde se pueden observar los pasos a tener en cuenta diligenciar este documento, (d) el material es colocado en sacos para ser pesados en una báscula de 100 Kg, como se observa en la figura 41, finalmente (e) el dato es suministrado según se observa en la tabla 19, donde se encuentran los pesos de material aglomerado en un mes de toma de datos.



EL material sin separación en la fuente es recolectado en canecas de 55 galones, suministran junto con los residuos de madera, plástico, vasos, zunchos, entre otros.



Para la prueba se asignan dos canecas, una de MDP, otra de MDF, los cortadores separan los materiales en cada caneca y se vierten en costales para medir el peso del material mas fácilmente.



Utilizando un peso colgante de máximo 100 Kg, se pesan los costales con material de MDF y por aparte los costales con material de MDP. De este modo tenemos los datos de material recolectado por cada cortador



En el almacén se tiene un área de 3 x 2 m para el almacenamiento del material residuo.

Figura 41. Registro fotográfico de la prueba de peso de material en la empresa Madecentro Colombia S.A.S, Gráfico y fotografías generadas por la Autora.

Tabla 18

Protocolo realizado para la toma de datos de la prueba de peso de madera, tabla generada por la Autora.

El objetivo de la prueba es identificar por medio del peso del material aglomerado, cuál de los materiales es el mayor generador de residuos dentro de la empresa Madecentro Colombia y tener un porcentaje de material mensual desechado en la por la empresa.		
Días especificados para la toma de la muestra	Martes	Viernes
Cortador Sierra 1	Mauricio Castellanos	
Cortador Sierra 2	Andrés Díaz	
Cortador Sierra 3	Carlos Niño	
Paso 1	El cortador realiza la separación en la fuente, para lo cual se le asignan tres canecas, una de ellas para la el material MDP, otra para el material MDF y una caneca de menor tamaño para residuos plásticos.	
Paso 2	El material debidamente separado se vierte en costales y es pesado en una báscula colgante de máximo 100Kg	
Paso 3	Se realiza la toma de datos los días Martes y Viernes	
Paso 4	Calcular el promedio mensual de residuos de acuerdo al material recolectado por cada cortador y por el almacén.	

Tabla 19

Registro de datos de la prueba de peso de madera, tabla generada por la Autora.

Semanas	FECHA 2018	MATERIAL	Almacén	Almacén	Almacén
			Sierra 1	Sierra 2	Sierra3
			PESO Kg	PESO Kg	PESO Kg
1	2 de Febrero Viernes	MDF	40	50	20
		MDP	35	30	32
	6 de Febrero Martes	MDF	53	10	50
		MDP	42	60	44
2	9 de Febrero Viernes	MDF	35	20	15
		MDP	48	50	30
	13 de Febrero Martes	MDF	15	25	18
		MDP	45	46	33
3	16 de Febrero Viernes	MDF	20	16	20
		MDP	60	38	56
	20 de Febrero Martes	MDF	21	15	11
		MDP	30	20	10
4	23 de Febrero Viernes	MDF	25	10	15
		MDP	45	30	38
	27 de Febrero Martes	MDF	13	21	16
		MDP	40	32	29
5	2 de Marzo Viernes	MDF	32	16	17
		MDP	10	20	35
	6 De Marzo Martes	MDF	14	25	15
		MDP	33	23	40
6	9 de Marzo Viernes	MDF	22	10	14
		MDP	15	31	36
	13 de Marzo Martes	MDF	13	12	5
		MDP	34	33	50

Apéndice B Entrevista

Tabla 20

*Formato de entrevista, tabla realizada por la autora.***Nombre****Víctor Peña****Cargo**

Administrador punto de venta

1. Qué se hace con el material de desecho proveniente del corte de material aglomerado?

EL material desecho se recolecta todo en canecas y se entrega al camión del aseo de la AMB, quienes se encargan de él.

2. Se realiza alguna separación de material de desecho de madera?

No, la empresa de aseo se lleva todo en un solo acarreo.

3. Cuanto es el costo de este servicio de recolección prestado?

Aproximadamente se pagan de 20 a 25 mil pesos mensuales.

4. Cada cuanto recogen el material desecho?

Pasan dos meses al mes.

5. Qué políticas tiene la empresa con respecto al retal y material de desecho de madera?

La empresa entrega todo el retal al cliente que puede ser aprovechado por él, pero aún así el desecho por el refile de lámina y pedazos pequeños es grande, o por material que se descarta que viene partido o que se daña por mal corte, además de los cortes especiales de los cuales salen retales de lámina que no se aprovechan y se descartan.

.6 Qué espacio ocupa en la bodega?

Tenemos un área de 2x2 donde se coloca todo el material mientras es recogido por la empresa de aseo

Apéndice C Procesos

Tabla 21

Procesos para el tratamiento de residuos de tablero aglomerado. Tabla generada por la Autora.

PROCESO	Calentamiento Óhmico (Eroski consumer, 2006)	Pirólisis (Pyrolysis, 2010)	Prensado en caliente (WBPI, 2013) (Systems, 2016)	Peletización (Sostenible, 2018)
Resultado del proceso	Fibra	Carbón activo	Bloques, planchas de madera. Estas máquinas hidráulicas de prensado en caliente se utilizan para producir tableros de partículas, tableros de MDF, tableros HDF para hacer puertas de cocina, particiones, estructurales (muros y revestimientos de paredes), revestimientos de paredes, tableros de mesas de café, etc.	Biomasa prensada en pequeñas piezas de 10 - 20 mm
Recurso humano necesario	2-3 personas	3- 4 personas	2- 3 personas	2-3 personas
Capacidad	Inferior a 20 mm x 20 mm.	Capacidad de aproximadamente 300 kg / h (base seca) de material de biomasa y es capaz de alimentar un generador eléctrico de 200 kW que está integrado en el sitio, 48 y 96 toneladas secas por día	1000 toneladas - potencia 12k	Capacidad: 250/400 kg/h Potencia 55 HP diesel Peso del paquete: 520 kg Tamaño del paquete: 1300*620*1220mm (0.9833cbm)
Recurso energético	Energía calórica y eléctrica, El calentador óhmico generalmente funcionará en el rango de 20KW a 1500KW	El principio de la pirólisis de la madera están las reacciones de radical libre de la destrucción térmica de la hemicelulosa, de la celulosa y de la lignina, que pasan a 200-260, 240-350 y 250-400°C respectivamente	Energía eléctrica- energía calórica	Energía eléctrica- energía calórica
Costo por maquinaria	5000- 7000 USD	2500- 5000 USD	1000-9000 USD	2300 – 3000 USD