



Desarrollo de un sistema de recolección, separación y distribución que permita generar materia prima a partir de desechos de madera reciclados.

Autor:

Caicedo Valencia Gina Marcela

Director:

Álvaro David Arévalo Salazar

Facultad de ingeniería

Bogotá D.C. 23 de noviembre de 2024

## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla de contenido</b> .....   | 2  |
| <b>Resumen ejecutivo</b> .....  | 4  |
| <b>Introducción</b> .....   | 5  |
| <b>Objetivo general</b> .....   | 7  |
| <b>Objetivos específicos</b> .....  | 7  |
| <b>Definición del problema</b> .....  | 8  |
| <b>Pregunta problema</b> .....  | 11 |
| <b>Justificación</b> .....  | 12 |
| <b>Análisis de requerimientos</b> .....   | 14 |
| <b>Intención del sistema:</b> .....   | 14 |
| <b>Verificación de parámetros de diseño.</b> .....  | 15 |
| <b>Parámetros de las estrategias de investigación:</b> .....  | 15 |
| <b>Parámetros de la implementación logística de datos en el Software de simulación FlexSim.</b> ..... | 25 |
| <b>Marco de referencias</b> .....   | 26 |
| <b>Marco teórico</b> .....  | 26 |
| <b>Economía Circular y Reciclaje de Materiales:</b> .....   | 26 |
| <b>Procesamiento de Madera y Métodos de Separación:</b> .....   | 27 |
| <b>Beneficios Ambientales y Sociales del Reciclaje de Madera:</b> .....                               | 28 |
| <b>Aspectos Normativos y Legales en la Gestión de Residuos:</b> .....                                 | 29 |
| <b>Análisis de restricciones</b> .....  | 30 |
| <b>Restricciones legales</b> .....  | 30 |
| <b>Restricciones Ambientales</b> .....  | 31 |
| <b>Restricciones Sociales</b> .....   | 31 |
| <b>Restricciones Económicas</b> .....   | 32 |
| <b>Metodología</b> .....  | 33 |
| <b>Fase de Recolección:</b> .....   | 33 |
| <b>Fase de Procesamiento:</b> .....   | 39 |
| <b>Fase de Simulación y Evaluación con FlexSim:</b> .....   | 43 |
| <b>Análisis de Resultados</b> .....   | 47 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Resultados Obtenidos:</b> .....       | 47 |
| <b>Impacto Técnico y Práctico:</b> ..... | 52 |
| <b>Análisis Crítico:</b> .....           | 54 |
| <b>Análisis de costos</b> .....          | 56 |
| <b>Conclusiones</b> .....                | 59 |
| <b>Referencias</b> .....                 | 61 |
| <b>ANEXOS</b> .....                      | 66 |

## **Resumen ejecutivo**

Mediante este proyecto se pretende utilizar el software de simulación Flexsim para desarrollar un sistema de producción, el cual facilite la manipulación de madera reutilizada como material principal, con la finalidad de crear materia prima a base de esta, mediante este sistema se utilizarán estrategias de recolección y clasificación para finalmente realizar un proceso de trituración de la madera y separación de metales que normalmente vienen incrustados en la madera que se recicla, para finalmente obtener una materia prima libre de metales e impurezas, lista para un proceso de empaquetamiento y distribución en donde será utilizada en procesos de creación de nuevos productos a base de esta.

La generación de residuos de la madera proviene generalmente de aserraderos, construcción de edificaciones, fabricación de muebles, incluso durante el proceso logístico de la tala de árboles. Según Trinidad, Vega, Rendón, y Tobón, (2019). “Se estima que solo entre un 20% y 30% de la especie maderable es aprovechable”. Cuando no se realiza una intervención o procesos que aproveche los residuos generados en estas industrias, los desechos en gran parte terminan en los verteros. Según Trinidad, Vega, Rendón, y Tobón, (2019). Los desechos de madera “se consideran un problema productivo, ambiental y económico debido a su lenta degradación natural, costo de transporte y disposición, reducción del espacio disponible en los centros de elaboración de madera y riesgos ambientales por incendios y autocombustión o propagación de plagas y enfermedades”

Por lo tanto, se plantea el desarrollo de un sistema en el cual se pretende utilizar como base los desechos de madera reciclados, mediante el uso estratégico de procesos óptimos que permitan la recolección, separación, trituración y generación de materia prima, la cual pueda sustituir de forma proporcional el uso de madera en la elaboración de productos en los cuales la madera hace parte de la materia prima para el desarrollo, construcción y producción.

## **Introducción**

La madera es un material utilizado continuamente como materia prima en diferentes industrias del mercado para la producción y fabricación de diversos elementos, esta se obtiene inicialmente mediante procesos de tala de árboles, proceso que afecta negativamente el medio ambiente en etapas como la deforestación. Según IDEAM (2022) “La actualización de la cifra oficial de deforestación para el año 2021 permite identificar que en Colombia se perdieron 174.103 ha identificándose un aumento del 1,5 % respecto de la pérdida reportada para el año 2020”. Si bien existen industrias que realizan estos procesos de manera legal las cuales realizan el cumplimiento de todas las normativas legales y vigentes para realizar actividades de tala de árboles con el fin de comercializar la madera, sin embargo existen muchas empresas que no cumplen con estas normativas, lo que genera industrias de tala ilegal de árboles. Según el análisis de certificaciones como el “Sello Ambiental Colombiano (SAC), la certificación FSC, entre otras ecoetiquetas,” estos estándares garantizan que la madera proviene de fuentes legales y sostenibles (Rueda, A., Moreno, R., & Zúñiga, J., 2016).

En cuanto a los residuos de madera en las industrias Según Trinidad, Vega, Rendón, y Tobón, (2020) “la mayor proporción de los residuos se genera en la etapa de transformación, dimensionado y mecanizado de la madera para la generación de productos de valor agregado.” Debido a la necesidad del uso continuo de madera que requiere el mercado, se genera la alta demanda que impulsa a recurrir de forma continua a procesos de obtención de la madera, con la frecuencia existe en el proceso de tala de árboles, preparación y distribución de la madera se han generado altas cantidades de residuos de este material, para los cuales se requieren estrategias ya sea de disminución de desperdicios o utilidad de los residuos lo cual que permitan mitigar el volumen de residuos de madera que se generan en los procesos.

El desarrollo de un sistema que mediante el uso de estrategias y metodologías que permitan la recolección, separación, distribución y comercialización, para aprovechar estos residuos que afectan tanto el medio ambiente como la economía, dando como resultado la generación de materia prima, la cual pueda ser utilizada como base para la creación de materiales que sustituyan la madera como parte de los componentes de los productos, dará lugar a una disminución considerable en el uso de la madera en diferentes industrias del sector, lo cual permitirá minimizar el proceso de tala de árboles y dará apoyo en el aprovechamiento de desechos de madera en el país y una mejora considerable en la economía con nuevas oportunidades en el mercado e inmersión laboral, además de la innovación en el sector de la madera con el uso de materiales a base de residuos de madera.

Dentro del desarrollo del sistema se pretende generar como producto final la materia prima a partir de madera reciclada dando lugar a pequeñas fibras de madera las cuales se pueden utilizar en la realización de aglomerados, pesebreras y galpones, jardines e invernaderos o pueden ser derivadas a industrias en donde esta materia prima requiere de un proceso externo de prensado dará lugar a tablones de madera los pueden ser utilizados para reemplazar el uso de la madera convencional, el desarrollo de este sistema va dirigido a empresas que apuestan por mejorar el medio ambiente, disminuir sus costos de inversión, aportar la innovación en el desarrollo de productos.

## **Objetivo general**

Desarrollar mediante el software de simulación FlexSim un sistema industrial de recolección, separación y distribución que permita utilizar los desechos generados en las industrias mediante la manipulación y utilización de la madera, en la producción de fibras de madera libre de impurezas y metales como materia prima.

## **Objetivos específicos**

- Establecer el proceso de recolección y clasificación de desechos de madera en zonas industriales y comerciales, definiendo el sistema logístico de recolección mediante la gestión de rutas.
- Desarrollar un sistema de trituración y procesamiento de la madera recolectada, que permita obtener fibras de madera libres de impurezas y optimizadas para su reutilización como materia prima en nuevas aplicaciones.
- Diseñar una simulación utilizando el software de simulación FlexSim que proporcione la utilidad maquinaria, operarios, y evidencie la capacidad de producción durante una jornada operativa de 8 horas.

## **Definición del problema**

Los residuos que se generan a partir de la madera provienen de los diferentes sectores desde el proceso inicial que hace parte de la tala de árboles y procesamiento de la madera en aserraderos como también industrias que actualmente se lucran económicamente de esta, mediante el uso de esta como parte del desarrollo de la actividad comercial, como construcción de edificaciones, la fabricación de productos ya sea para uso doméstico como industriales, esto evidencia una alta demanda de la madera como materia prima, lo cual aumenta la necesidad de adquirir este material, en todos estos sectores el desperdicio de madera supone posibles pérdidas, ya que se desperdicia material que se adquiere con un valor proporcional el cual, por otro lado tiene el potencial de general valor económico aplicado las estrategias y metodologías apropiadas para aprovechar los residuos al máximo.

La falta de sistemas que permitan disminuir los residuos de madera en un ámbito social y económico permite que estas aumenten en proporción no solo en los vertederos sino también en zonas destinadas al uso de las personas, además equivale para las personas una pérdida de espacio destinado a los residuos de madera el cual podría ser aprovechable en otras cuestiones, se puede optar por aportar una o diferentes soluciones que permitan un aprovechamiento estratégico de los residuos de la madera que se genera en las diferentes industrias aportaría de forma proporcional al desarrollo logístico y económico de las industrias en cuanto a los residuos, además se generan oportunidades de crecimiento económico e innovación mediante al aprovechamiento de un material que se está gestionando como desperdicio.

### **Aserraderos:**

Según Trinidad, Vega, Rendón, y Tobón, (2020) “Desde el momento de la extracción de la madera en los bosques se generan residuos que se dejan en las zonas de extracción”. En el proceso de tala y en los aserraderos se ha evidenciado que algunos no utilizan estrategias

logísticas que permitan un máximo aprovechamiento de la madera en el proceso de corte en el cual se genera una cantidad considerable de aserrín el cual se convierte en desperdicio. “las industrias de aserrío y de tableros contrachapados producen, cada una, entre el 40 y el 55 por ciento de residuos de la madera que entra en ellas”, (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)).

El aserradero es el lugar donde la madera recibe procesos según la función a la que este orientada, mediante este se utilizan maquinarias donde se realizan operaciones de corte, pulido, lijado entre otras, sobre la madera que por lo general viene directamente desde la zona de tala de árboles, Según Asprilla, (2023) “El aserrado, pulido y lijado de las maderas genera emisión de partículas que van depositándose en forma permanente sobre suelos, vegetación natural, cultivos y aguadas. Los basurales, la acumulación de aserrín, virutas o desperdicios en los propios predios de los aserraderos, en veredas o en lugares no habilitados” Este es un factor que nos indica que parte del proceso de la madera en sí, es uno de los puntos de generación de grandes cantidades de residuos a los cuales no se les aplican estrategias logísticas para aprovechar esta madera desechada o partículas de madera.

### **Empresas de construcción:**

En cuanto a las empresas de construcción de edificaciones estas le dan un uso único a la madera que requieren en sus procesos de construcción agregando a estas durante su uso metales incrustados, los cuales dificultan su aprovechamiento en cuanto al reciclaje además estas empresas hacen parte de uno de los sectores que genera diferentes tipos de residuos en sus procesos de construcción. En estudio realizado a 11 empresas de construcción por Crisostomo, y Miranda, (2023), se determinó que “en base a la partida de columnas, se obtuvo un desperdicio en el concreto de 2.31%, en el acero de 1.10% y en la madera de 1.90%; y en la partida de escalera se obtuvo un desperdicio de concreto, acero y madera de

1.00%, 3.66% y 4.11% respectivamente”. En base a esto algunas empresas no priorizan tanto la recolección significativa de la madera ya que en algunos de sus procesos este desperdicio es poco considerable en comparación con los otros residuos que genera.

La creación de nuevas edificaciones genera oportunidades de crecimiento económico, y desarrollo social, sin embargo mediante el proceso de construcción se requiere la implementación de materiales de un único uso el cual los convierte en residuos, Según el Ministerio de ambiente “En Colombia, la industria de la construcción consume el 40% de la energía, genera el 30% del CO<sub>2</sub> y el 40% de los residuos. Consume el 60% de los materiales extraídos de la tierra. Adicionalmente, en la construcción se desperdicia el 20% de todos los materiales empleados en la obra”. Uno de los materiales más comunes en la construcción ya sea de edificaciones pequeñas o grandes es la madera, la cual debe atravesar diversos procesos en los cuales la madera se expone a otros elementos que al finalizar su tiempo de uso, estos quedan incrustados en ella, esto hace que la madera pierda propiedades para ser reutilizada y se tome en cuenta para ser llevada a vertederos o espacios en los que afectara negativamente la zona, ya que esta hará parte de la acumulación de material desechable sólido que se convertirá en un inconveniente ecológico para la sociedad.

### **Fabricación de muebles:**

La creación de muebles es una necesidad constante que demandan los usuarios, ya que de esta se deriva la comodidad tanto en los hogares como en zonas comerciales tanto públicas como privadas, haciendo de este elemento parte fundamental de las industrias en base a el requerimiento exhaustivo que se ha generado de la madera como materia prima para la creación de muebles o productos de carpinterías, sin embargo, la demanda de madera como materia prima ha generado una alta concentración de desperdicios debido a su constante procesamiento. Las empresas dedicadas a la fabricación de muebles o carpinterías generan

desperdicios significantes para el sector, ya que realizan productos que requieren una disminución proporcional de la materia prima. Una encuesta como parte de un estudio realizado a talleres de carpintería por Peñalba, y Pérez, (2022), determino que “En cuanto al volumen de producción de residuos, el 70 % señala que generan 9 kg de residuos según el tiempo de limpieza, el 20 % genera 4 kg y el 10 % genera 2 kg”. En base a esto se entiende que la mayoría de los talleres emplean sus actividades en la fabricación de productos en la cual no hay establecida una función y/o organización estratégica que se aplique de una forma logística adecuada para disminuir los residuos durante el procesamiento de la madera.

“La industria de la construcción de madera genera grandes volúmenes de residuos, una de las mayores productoras de residuos sólidos que no están siendo aprovechados, ya que con ellos podemos hacer o terminar un determinado producto, en virtud de botarlos, quemarlos o venderlos”. (Peñalba, D. Pérez, I. 2022). El aprovechamiento positivo de este desperdicio puede significar un cambio favorable en la creación de nuevas oportunidades de mercados, ya que la madera tiene propiedades que la hacen duradera lo que hace que su reutilización proporcione confiabilidad en cuanto a la calidad.

### **Pregunta problema**

¿Cómo desarrollar un sistema de recolección, separación y distribución de desechos de madera que facilite la generación de diseños sostenibles y promueva oportunidades de crecimiento económico e innovación en la industria del reciclaje?

## **Justificación**

En un contexto global donde la presión por reducir el impacto ambiental de las actividades industriales es cada vez mayor, la gestión eficiente de los residuos se ha convertido en una prioridad estratégica para muchas industrias. La madera, un recurso ampliamente utilizado en sectores como la construcción y la fabricación, genera residuos que no solo representan un desafío desde el punto de vista ambiental, sino también una oportunidad para la innovación y el desarrollo tecnológico en áreas como la fabricación de tableros aglomerados, la fabricación de compost y como fuente de energía (Gestan Conteco, 2020).

De acuerdo con Miranda, J. (2022), “únicamente en Estados Unidos, durante 2018, la tasa de reciclaje de madera sólo alcanzó el 17% de los 18,1 millones de toneladas de residuos que se produjeron, evidenciando discrepancias importantes en la tasa de aprovechamiento de estos residuos entre diferentes países industrializados, donde Italia recoge el 63% de estos remanentes”. Estas diferencias se agudizan al entender los desafíos únicos que este proceso representa, especialmente cuando los residuos están contaminados con metales, lo que complica su reutilización. Sin embargo, la creciente conciencia sobre la sostenibilidad y el compromiso con la economía circular han impulsado la búsqueda de soluciones que no solo mitiguen el problema de los residuos, sino que también transformen estos materiales en recursos valiosos.

Además, este enfoque no solo contribuye a la reducción de la demanda de materias primas vírgenes, sino que también apoya la creación de nuevos modelos de negocio basados en la reutilización de recursos. La implementación de un sistema de reciclaje de madera automatizado y eficiente puede servir como un modelo replicable para otras industrias, promoviendo la innovación y fortaleciendo el compromiso de las empresas con la sostenibilidad.

En resumen, este proyecto no solo responde a una necesidad operativa y ambiental, sino que también abre nuevas posibilidades para el emprendimiento y la creación de valor en un mercado global que demanda cada vez más soluciones sostenibles e innovadoras. La reutilización de madera reciclada abre la puerta a la producción de productos como mobiliarios, elementos arquitectónicos y objetos decorativos con un enfoque ecológico, que son altamente demandados por sectores que promueven la economía circular. Las empresas enfocadas en este modelo pueden disminuir costos operativos al incorporar materiales reciclados y extender la vida útil de sus productos. Además, la madera reciclada después de aplicaciones y procesos que permiten su reutilización ofrece alternativas de uso que se aplican en diversos sectores de las industrias para la creación de productos ya sea para uso domésticos, profesional o espacios públicos. Este enfoque no solo genera beneficios ambientales, sino que también posiciona a las empresas dentro de un mercado en expansión, ávido de materiales renovables y prácticas empresariales responsables.

## **Análisis de requerimientos**

Para el desarrollo del análisis de requerimientos se requirió mediante investigación identificar las especificaciones del sistema a desarrollar en el cual se pueden determinar en cuanto a la zona el sistema adecuado para cumplir con el planteamiento del proyecto, en el cual se utilizan datos realizar para simular una situación de procesamiento en un entorno de producción de los residuos de madera.

## **Intención del sistema:**

El propósito del sistema consiste en aprovechar los desechos de madera que se generan en los diferentes sectores industriales para darles un valor potencial que impacte positivamente en la economía circular, utilizando estrategias de recolección, separación y distribución de estos residuos con el fin de convertirlos en materia prima, con el propósito de generar un producto a base de residuos de madera que en algunas etapas de producción de diferentes productos que se generan en la industria a base de la demanda, esta pueda sustituir ya sea de forma proporcional o total la implementación de madera, la creación de nuevos productos, para otros fines, esto se logra mediante la intervención de procesos que implican estrategias logísticas de implementación y distribución requeridas para cada etapa de desarrollo.

## **El sistema proporciona datos reales y brinda soluciones.**

- Permite evaluar la cantidad de materia prima que se puede generar durante una jornada de 8h con un aprovechamiento máximo de la maquinaria.
- Identifica la cantidad necesaria de operarios y maquinaria requerida para que los residuos de madera se procesen de manera adecuada.
- Utiliza estrategias implementadas en el proceso de separación que permiten librar los residuos de materias de material metálico y no metálico.

- Permite identificar la utilidad de cada uno de los operarios y maquinarias que intervienen en el proceso de producción desde la recepción de los residuos hasta el empaquetamiento final.
- Implementa la maquinaria adecuada que cumplen con los requisitos necesarios para obtener una materia prima libre de impurezas

### **Verificación de parámetros de diseño.**

Como parte del desarrollo del sistema se utilizan conceptos fundamentales en donde el desarrollo del proyecto se orienta hacia aplicación de estrategias de investigación e implementación logística de datos en el Software de simulación FlexSim.

### **Parámetros de las estrategias de investigación:**

La veracidad de los datos que se obtienen mediante la simulación se sostiene en base a la identificación de los procesos y elementos necesarios para el desarrollo del sistema.

### **❖ Fuentes de generación de residuos de madera:**

Existen diversas actividades en la industria que generan residuos de madera en Bogotá, lo cual se representa en la siguiente tabla con la información que establece la Subdirección de Recurso Hídrico y del Suelo:

| <b>Actividad Productiva CIU 4.0 A.C.</b>  | <b>Sólido/Semisólido (kg)</b> |
|---|-------------------------------|
| 1620 - Fabricación de hojas de madera para enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tableros laminados, tableros de partículas y otros tableros y paneles | 2117                          |
| 1630 - Fabricación de partes y piezas de madera, de carpintería y ebanistería para la construcción  | 2561,6                        |

|   |         |
|---|---------|
| 1690 - Fabricación de otros productos de madera;<br>fabricación de artículos de corcho, cestería y espartería | 1518    |
| 3110 - Fabricación de muebles   | 624,1   |
| 4111 - Construcción de edificios residenciales  | 11705,9 |
| 4112 - Construcción de edificios no residenciales   | 8940,07 |
| 4290 - Construcción de otras obras de ingeniería civil  | 67      |

*Tomado de: secretaria distrital de la nación*

❖ **Fuentes de adquisición de residuos de madera:**

Las principales fuentes de adquisición se orientaron a los siguientes sectores, aserraderos, industrias de construcción, empresas de fabricación de muebles. De acuerdo con la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP) en Bogotá existen cerca de 731 puntos críticos de basuras. De los cuales las siguientes zonas de Bogotá tienen la mayoría Engativá tienen 156 y Kennedy tiene 77.

**Mapa:**



*Tomado de Google maps*

## **Industrias forestales ubicadas en Engativá:**

A continuación, se presenta la lista de las industrias forestales en Engativá, Según el estudio realizado por la secretaria distrital de planeación, a partir de estas direcciones se logra determinar mediante trayectos organizados estratégicamente, el tiempo y las distancias que se deber recorrer para tener acceso a los residuos que estas industrias generan, en donde se aplica una gestión logística en la cual se optimiza el tiempo por zonas según las direcciones y en mapas mediante nodos. En cada uno de los nodos se puede acceder al enlace que permite detallar los trayectos en mapas, también se pueden ingresar las coordenadas en sistema de mapas, en donde mediante a estas se podrá acceder al trayecto.

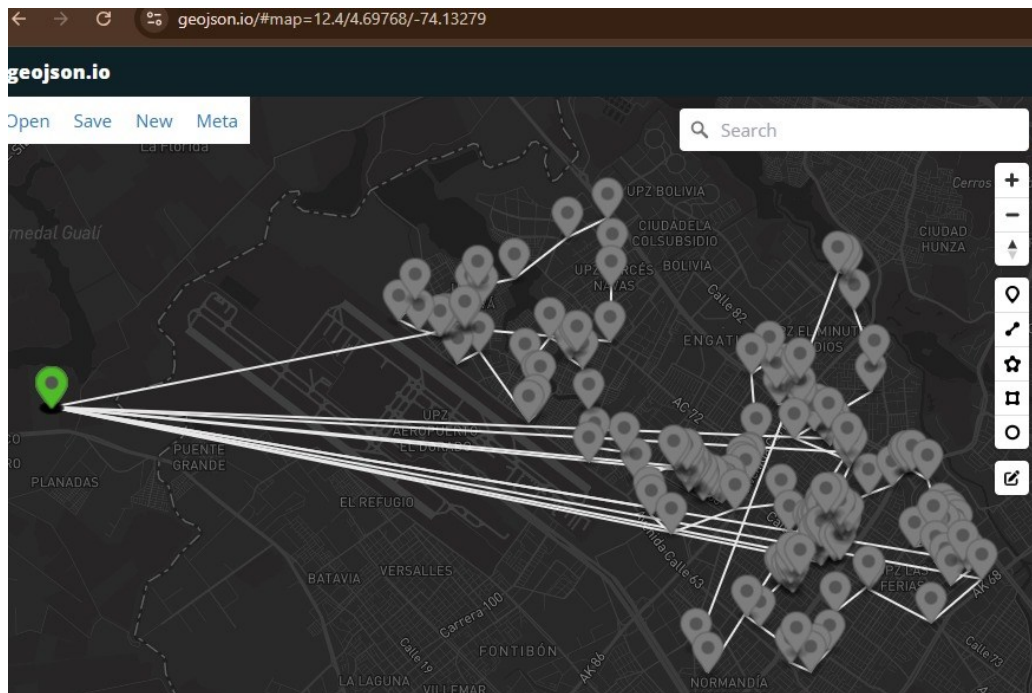
(Tabla de las Industrias forestales con direcciones, coordenadas y tiempos de traslado en el [ANEXO 1](#))

### **Planta de producción:**

#### **○ Ubicación:**

Según la cámara de comercio de Bogotá (2007). “La localidad Engativá representa el 4,2% del área total de la ciudad y es la novena localidad en extensión total (3.588 hectáreas (ha.) y posee 150 ha. de suelo de expansión. 63,5% es suelo para uso residencial, el 6% es suelo para uso de comercio y servicios, de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá”. Existen diferentes zonas que puedan ser adecuadas para operar la planta de producción, sin embargo, actualmente se pretende utilizar zonas rurales de Bogotá, ya que en estas zonas se puede dar uso del libre espacio para operar con toda la maquinaria sin necesidad de realizar contaminación de ruido, se pretende que esta no se encuentre alejada de la zona central, ya que la logista de adquisición de la madera requiere que esta se encuentre en una zona asequible.

Para el proyecto la planta estará ubicada en zona industrial de Mosquera.



- **Área requerida para la planta de procesamiento:**

El área del terreno que permite distribuir adecuadamente las zonas de recepción almacenamiento y producción debe estar entre los 2500 y 3500 metros cuadrados. La planta de procesamiento requiere de una zona en la que se pueda operar de manera que se logren cumplir con el planteamiento de estar lo suficiente mente cerca para adquirir el material y lo suficiente mente lejos para realizar las operaciones sin realizar la contaminación de ruido, para el desarrollo de este punto se analizan zonas en Bogotá o cercanías que puedan cumplir con todos los requerimientos necesarios.

- **Maquinaria:**

- **Camión:**

- Vehículo industrial de recogida de residuos sólidos urbanos con carga superior con grúa, este vehículo de carga superior bilateral y automático sirve para poder manipular

contenedores de enganche y trabajar con los diferentes tipos de residuos que hay: orgánica, envases, cartón, vidrio y los restos. (Transtel S.A)



*Imagen tomada de: Transtel S.A*

**Pulpo grúa:** Esta toma la madera directamente del transporte y la transfiere al suelo, almacenamiento o trituradora según la función que se requiere, algunos modelos de pulpos son ideales para trabajar con portadoras de 6 a 90 toneladas. (Ardenequipment)



*Imagen tomada de: Ardenequipment*

### **Máquina de trituración a trozos:**

La producción consiste en "tiras" de la anchura de las cuchillas, normalmente de 25 a 76 mm (1 a 3 pulgadas). Las trituradoras industriales están diseñadas con configuraciones de accionamiento y corte específicas para sus requisitos de producción. (directindustry)



*Imagen tomada de: Direct Industry*

### **Máquina de limpiar impurezas:**

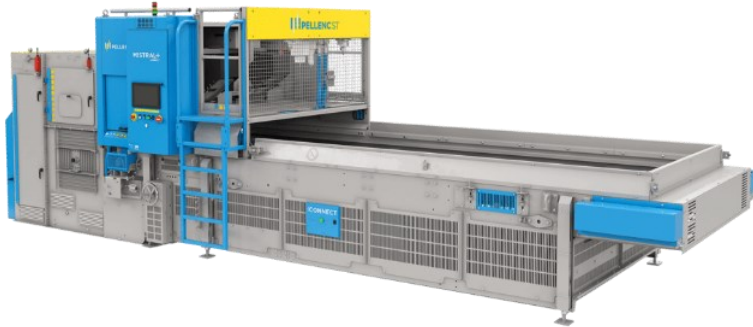
Identifica y separa plásticos e impurezas procedentes de restos de madera triturada, Residuos de construcción y demolición y Residuos comerciales. Realiza la separación de plásticos y mezclas de plásticos, la separación de combustibles alternativos y/o el compost/tratamiento de madera usada. (Steiner, Magnetic + Sensor Sorting Solutions)



*Imagen tomada de: Steiner, Magnetic + Sensor Sorting Solutions*

### **Máquina de separación de madera transformada:**

Realiza una separación de alta calidad de la madera sin tratar ni pintar procedente, por ejemplo, de palés, cajas, tableros, etc. y la madera de tratada procedente, por ejemplo, de muebles, madera de demolición, escombros, etc. para obtener un flujo de salida de madera natural pura. (pellencst 2022)



*Imagen tomada de: pellencst 2022*

### **Máquina de separación de metales:**

Separación de metales férricos y no férricos con tecnología magnética y de separación por corrientes de Foucault (Steiner, Magnetic + Sensor Sorting Solutios)

Granulometrías: hasta 300 mm

Ancho de trabajo: 2.000 mm



*Imagen tomada de: Steiner, Magnetic + Sensor Sorting Solutios*

### **Máquina de trituración a virutas:**

Las virutadoras están diseñadas para obtener viruta de leña, troncos de madera y de madera de desecho, su sistema automático de funcionamiento cuenta con una cinta transportadora, que transporta la viruta hasta el exterior de la máquina, ofreciendo así una fácil recolección del producto final, tiene una capacidad de producción de 2,0 Toneladas/hora. (Maquinaria Iglesias)



*Imagen tomada de: Maquinaria Iglesias*

### **Cinta transportadora plana:**

Su mecanismo funciona gracias a un sistema de poleas que accionan la banda que va a transportar de un lado a otro los materiales colocados en ella, su uso es generalmente interno. (Muñoz, S. 2023)



*Imagen tomada de: Inoxidables Victoria*

### **Máquina de empaquetamiento:**

se utilizan para comprimir virutas de madera en balas o paquetes de forma automática, producción 1.200kg/hora



*Imagen tomada de: maquitor*

#### ○ **Personal:**

Operario de transporte con carné tipo C + CAP

Operarios con las capacitaciones y certificados para observación seguimiento y manejo para:

Pulpo grúa

Almacenamiento

Máquina de trituración a trozos

Máquina de limpiar impurezas

Máquina de separación de madera transformada

Máquina de separación de metales

Máquina de trituración a virutas

Máquina de empaquetamiento

Operario de gestión de almacenamiento y distribución de producto terminado

Operarios de gestión de los materiales en cintas transportadoras

- **Otros requerimientos**

**Acceso a fuentes de energía:** El uso continuo de maquinaria industrial requiere el acceso a las fuentes de energía que permitan alimentar correctamente cada de estas.

**Sistemas de educación:** Se debe asegurar que todos los colaboradores involucrados en el proceso de producción estén actualizados con los cuidados requeridos en el manejo adecuado de maquinaria y prevención de riesgos

**Implementos de protección:** Se debe acreditar el acceso a equipos de seguridad para todos los operarios involucrados en el proceso de producción.

## **Parámetros de la implementación logística de datos en el Software de simulación FlexSim.**

### **❖ Procesamiento de los residuos de madera:**

Una vez los residuos de madera llegan a la planta, se realiza el control del estado de los residuos de acuerdo a la procedencia, en donde evaluara parámetros, por ejemplo, si esta mojada se envía al área de almacenaje para utilizar después de estar seca, si tiene elementos incrustados se realiza una trituración a trozos, y después se envía a la máquina de separación de metales, si está contaminada con pinturas o restos de otros productos como plástico, cartón, se envía a la máquina de separación de material contaminado y no contaminado.

en este proceso se implementan 3 máquinas de separado, una que se encarga de separar la madera con pinturas o elementos químicos, otra maquinaria que se encarga de separar la madera de los residuos como plástico, cartón, y por último la maquinaria que se encarga de separar la madera de los metales.

Una vez este todo el material limpio de impurezas se procese a realizar la trituración que da como resultados materia prima a base de las virutas de madera generadas con residuos de madera, y finaliza con el empaquetamiento.

### **❖ Software de simulación FlexSim:**

Tecnologías de información FlexSim para modelar el desarrollo del sistema en el cual se gestionarán las estrategias de recolección, separación y distribución de los desechos de madera para la creación de materia prima, con la finalidad de utilizar y aprovechar el 100% de los residuos de madera que llegan a la planta.

## **Marco de referencias**

### **Marco teórico**

#### **Economía Circular y Reciclaje de Materiales:**

La economía circular aplica métodos de que permiten un alto aprovechamiento de materiales en los procesos de fabricación de productos de forma estratégica para que estos se aprovechen al máximo y no generen desperdicio de residuos que afecten al medio ambiente, esto permite que se desarrollen nuevos productos con elementos reutilizables y procesos que eco-amigables lo cual ha aportado grandes beneficios a diferentes países que tomaron la iniciativa de hacer de esta economía circular parte de sus estrategias de desarrollo sostenible. “En la región de LATAM, varios países han comenzado a diseñar iniciativas para adoptar la "Economía Circular" como plan de acción esencial para el "Desarrollo Sostenible". Por ejemplo, Colombia, en el año 2019 se convirtió en el primer país en la región en diseñar una "Estrategia Nacional de Economía Circular" posteriormente países como Ecuador, Perú, Chile y Uruguay lo siguieron” (Romano, S. 2022). “En febrero de 2021, el Parlamento votó el plan de acción sobre economía circular y demandó medidas adicionales para avanzar hacia una economía neutra en carbono, sostenible, libre de tóxicos y completamente circular en 2050. Estas deben incluir leyes más estrictas sobre reciclaje y objetivos vinculantes para 2030 de reducción de la huella ecológica por el uso y consumo de materiales”. (Parlamento Europeo)

En Colombia el uso y distribución de la madera genera diversos impactos en la economía, biodiversidad y la sociedad, su material se aprovecha favorablemente la creación de diversos elementos para las industrias que enfocan su comercio hacia productos a base de madera, lo cual genera una alta demanda de la madera como materia prima. Según la OIT, la FAO y el Instituto Forestal de Thünen (2022) “Más de la mitad del sector la ocupación (58%) se dedica a la fabricación de madera y productos de madera, y otro 18% a la fabricación de pasta y papel”. Esto permite que se genere un alto crecimiento en procesos de obtención de la madera como lo es inicialmente la deforestación consecuencia de la tala de árboles,

proceso mediante el cual se logra obtener el derivado de la madera como materia prima. En el proceso de reciclaje se puede optar por transformar la madera para la generación de un subproducto aprovechable en diferentes sectores. Según un estudio realizado por (Zerabruk, Khennane, Liow, Hailu, y Katoozi, (2023) donde se “utiliza madera de desecho, incluida madera tratada con cromo, cobre y arsénico (CCA), para producir compuestos de madera aglomerados con cemento geopolímero curados a temperatura ambiente”

### **Procesamiento de Madera y Métodos de Separación:**

El uso de la madera reciclada como materia prima se puede obtener mediante diversos procesos que incluyen la trituración de la madera desechada y separación de los metales que vienen incrustada en esta. Para realizar los procesos de trituración se requiere de la maquinaria necesaria para esta labor específicamente, ya que la estructura de la madera reciclada es de diferentes tamaños y grosor y además contiene elementos ajenos a la madera, esto requiere de ajustes y estrategias logísticas que permitan una distribución y movimiento adecuado del material el cual le permita completar el proceso hasta llegar a convertirse en partículas de madera libres de impurezas y listas para su uso comercial.

Una planta en Alemania utiliza la siguiente estructura y gestión de maquinaria para realizar el proceso de trituración de los desechos de madera “La madera almacenada es introducida mediante un pulpo al triturador primario HAAS modelo TYRON 2000 versión 2.0 eléctrico y estático. Este triturador cuenta con doble eje de trituración de 4 elementos con discos de 7/7 cuya función es la de triturar la madera con una salida aproximada de 0 a 300 mm. La madera triturada es transportada al molino de martillos HAAS modelo ARTHOS 1600-E. El molino incluye malla de cribado de 100 mm y además una pipa balística para la expulsión de materiales pesados y macizos antes de ser introducidos al molino, evitando así daños y roturas”. (Retema 2020).

### **Beneficios Ambientales y Sociales del Reciclaje de Madera:**

Según (Canastero, R. 2012). “las empresas transformadoras de madera y fabricantes de muebles producen un 30% de desperdicios, por cada tonelada de madera consumida”. Los residuos generados a partir de la madera por lo general terminan en vertederos disponibles para una adecuada evacuación de los residuos, ya que se cuenta con La UAESP (Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos), la cual se encarga de gestionar los procesos adecuados para los residuos sólidos, sin embargo existen empresas que no acuden a los organismos establecidos ya que este proceso genera costos en cuanto a traslado y entrega del residuo como parte del programa o si este proceso se realiza con terceros que realizan un manejo inadecuado de este residuo, lo cual genera un alto impacto negativo ya que las grandes industrias generan altas cantidades de desperdicios, si nos enfocamos en la fabricación de muebles.

“La recolección de desechos, sea desde el hogar o de las grandes industrias que producen cualquier cantidad de residuos sólidos es el inicio a la apertura por el cuidado ambiental”. (Caisa, E. Padilla, M. Ríos, G. 2019). Se debe tener en cuenta establecer rutinas y espacios de recolección de desechos tanto en los hogares como en las industrias, aplicando los procesos de reciclaje de forma correcta impactaría de manera positiva el medio ambiente, ya que la madera a pesar de ser un material orgánico presenta un riesgo considerable debido a que sus propiedades generan altas emisiones de carbono, y su continua necesidad de uso en productos aumenta las actividades de tala de árboles que generan deforestación. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo (2021). “la extracción ilegal de madera fue una de las causas de la deforestación a nivel nacional durante el año 2020”.

Todos estos factores que afectan al medio ambiente se pueden prevenir mediante la implementación de estrategias de reciclaje tanto en industrias como en hogares, esto permite un fácil acceso a materiales que tendrían un alto potencial de reutilización para generar

nuevos productos que aporten a la economía circular y disminuyan los impactos ambientales que estos generan desde su proceso de obtención como su sistema de desecho.

**Aspectos Normativos y Legales en la Gestión de Residuos:**

- **Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018 – 2022:** “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” mediante la Ley 1955 de 2019.
- **Plan de gestión de residuos sólidos PGIRS:** Decreto 2981 de 2013 para la gestión de residuos sólidos, favorables para el tratamiento, aprovechamiento y aseo de estos. En la Resolución 754 de 2014, se implementan metodologías para formular, implementar, evaluar, realizar un seguimiento y control de los PGIRS. (Ministerio de ambiente).
- **Plan para el Manejo Integral de Residuos Sólidos PMIRS:** “Este está basado en las actividades de los procesos, y encaminado al cumplimiento de las directrices de la Política del Sistema Integrado de Planeación y Gestión” (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo)

## **Análisis de restricciones**

### **Restricciones legales**

Según la Secretaría Jurídica Distrital (2023)

- **Decreto 312 de 2006 Proyecto de Ley 04 de 2007:** Por el cual se adopta el Plan Maestro para el Manejo Integral de Residuos Sólidos para Bogotá Distrito Capital
- **DECRETO 400 DE 2004:** Por el cual se impulsa el aprovechamiento eficiente de los residuos sólidos producidos en las entidades distritales.
- **DECRETO 605 DE 1996:** por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo.
- **DECRETO 1713 DE 2002:** Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
- **DECRETO LEY 1421 DE 1993:** Reglamentado parcialmente por los Decretos Nacionales 1677 de 1993, 2537 de 1993, 1187 de 1998 y 1350 de 2005. Por el cual se dicta el régimen especial para el Distrito Capital de Santa Fe de Bogotá.
- **DECRETO 1505 DE 2003:** Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

### **Restricciones Ambientales**

El uso continuo de maquinaria industrial dentro de los procesos hace que para operar en la planta de procesamiento se requiera de una zona en la que se pueda operar de manera que se logren cumplir con el planteamiento de estar lo suficiente mente cerca para adquirir el material y lo suficiente mente lejos para realizar las operaciones sin realizar la contaminación de ruido, además la maquinaria requerida para el desarrollo de la planta de producción requiere de altos niveles de energía para su correcta operación.

### **Restricciones Sociales**

Con las virutas de maderas que se generen en el desarrollo del proyecto como materia prima se pretende fomentar la disminución de acceso a la madera, en donde se utilizan procesos como la tala de árboles, con la idea de que se conserve la economía circular dentro del sistema, para así lograr limitar estos procesos. Sin embargo además de la tala de árboles ilegal existen comunidades y empresas que tienen una economía establecida en base al proceso de la tala de árboles, en este ámbito existen familias que dependen de los puestos que esta industria genera, a pesar de los efectos negativos que este le genere al medio ambiente, aunque el proyecto a gran escala supone una oportunidad favorable para el medio ambiente, este se restringe en base a las gestiones establecidas por las industrias de madera que tienen como principal proveedor las empresas que proporcionan la madera mediante la tala de árboles.

Si bien las virutas de madera requieren de otros procesos para simular la madera original como lo es el prensado, sin embargo, existe productos que mediante sus procesos aun requieran la madera cortada directamente del árbol debido a que su estructura y/o propiedades, por lo tanto, las virutas de madera no pueden reemplazar en un 100% la madera extraída mediante la tala de árboles en la implementación de algunos procesos y/o artículos.

## **Restricciones Económicas**

Se requiere de la maquinaria adecuada para realizar todos los procesos necesarios para que la madera llegue al estado necesario, para esto se deben tener en cuenta equipos industriales los cuales cuentan con la capacidad necesaria para minimizar los imprevistos, en cuanto a esto se entiende que inicialmente se eleva el costo de la planta de procesamiento ya que se requiere maquinaria con especificaciones las cuales aumentan su costo de adquisición

En cuanto a la implementación de la simulación en un ámbito real se requiere principalmente incorporar la maquinaria adecuada según los parámetros que se establecieron mediante la investigación y se aplicaron en la simulación lo cual conlleva a la necesidad de requerir un capital de inversión para adquisición de la maquinaria. Para determinar la inversión se tuvo en cuenta los valores del mercado de la maquinaria principal para el desarrollo del producto planteado en el proyecto y la simulación por lo tanto tenemos que la inversión inicial en maquinaria la cual tiene una depreciación de 10 años sería de 1.798.000.000 millones de pesos colombianos.

Para que el sistema funcione la maquinaria requerida debe cumplir con los requerimientos, sin embargo, se pueden evaluar estrategias como adquirir maquinaria que aún se conserve en buen estado y pueda realizar todas las funciones necesarias, con la diferencia que esta se adquiera en el mercado de maquinaria usada, sin duda es una alternativa eficaz para combatir los altos costos. Además, se debe tener en cuenta el equipo inicial en cuanto a personal requerido para el funcionamiento del proceso de producción, que involucra cada uno de los lineamientos que se requieren para realizar las operaciones. En base a los parámetros establecidos por la simulación se determinó que un equipo inicial de 21 operarios es la cantidad requerida para gestionar las tareas en la planta de producción de acuerdo con la maquinaria establecida para el desarrollo del proceso de producción, desde el proceso de recolección hasta el empaque y almacenamiento.

## **Metodología**

Para el desarrollo del proyecto se aplicarán métodos de investigación aplicada y simulación experimental, mediante el cual se establecerán metodologías con una estructura practica y visual que permitirá la optimización del proceso de reutilización de residuos de madera en función de su viabilidad y eficiencia operacional antes de ser implementado.

## **Fase de Recolección:**

La madera que se desecha a pesar de ser un contaminante que sobre ocupa espacios, en Colombia no cuenta con estructuras logísticas que permitan un fácil acceso hacia estas, las empresas por lo general utilizan los servicios para deshacerse de la madera que para ellos no tienen utilidad por medio de terceros que por lo general no desechan la madera en muchos casos de forma adecuada. En cuanto a la adquisición del material, se estable una ruta con la información necesaria de las industrias que generan los residuos de madera, para implementen en sus estrategias de desecho este proyecto en donde se requieren los residuos de madera para ser procesados.

La logística de adquisición se realiza mediante el seguimiento de las rutas planteadas en el proyecto en donde se facilitan las direcciones de los sectores que generan esta materia prima en la zona de Engativá, esta ruta estratégica permitirá que se cubran los puntos que aportarían la materia prima requerida para el desarrollo del proyecto, se facilita un mapeo geográfico con las indicaciones específicas de punto de inicio y punto final del recorrido de recolección.

## Logística de rutas por zonas

A continuación, se generó una estrategia logística para la adquisición de los residuos, en donde se debe recorrer por zonas para una mayor optimización de la ruta y los tiempos de recorrido, en donde los nodos se agrupan según la zona

| # | INDUSTRIA | DIRECCIONES | COORDENADAS | ZONA | TIEMPO* (Min)                      | TIEMPO (Min) | DISTANCIA (Km)   | TRAYECTOS EN MAPS |
|---|-----------|-------------|-------------|------|------------------------------------|--------------|------------------|-------------------|
|   |           |             |             |      | 1218                               | 511          | 118,342          | TIEMPO TOTAL      |
|   |           |             |             |      | Minutos                            | Minutos      | Kilometros       | RESULTADO GLOBAL  |
|   |           |             |             |      | 20,30                              | 8,52         | 13,90            | RECORRIDO NODOS   |
|   |           |             |             |      | Horas                              | Horas        | Velocidad (Km/h) | Promedio          |
|   |           |             |             |      | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 1 |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | 355                                |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 2 |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | 345                                |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 3 |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | 352                                |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 4 |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | 360                                |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 5 |              |                  |                   |
|   |           |             |             |      | 317                                |              |                  |                   |

### ANEXO 1

Se establecen los puntos de recogida mediante las direcciones obtenidas mediante la instigación realizada por industrias forestales en Engativá, en base a estas direcciones se organizan las direcciones por zonas, mediante el uso estratégico de nodos de conexión según la cercanía de los puntos de coordenadas. Por lo tanto los procesos de recolección se hacen efectivos mediante el uso y seguimiento de las rutas, sin embargo los tiempos establecidos en el estudio logístico de rutas no incluyen los tiempos de ocio que establecen, descansos del operador, sistematización de los semáforos, estado de las rutas y tiempos en base al tráfico que se genera, proyección de accidentes, por lo cual solo se debe tomar como referencia el tiempo entre las rutas establecidas, ya que estos tiempos se pueden prolongar según sea el requerimiento o imprevisto que ocurra.

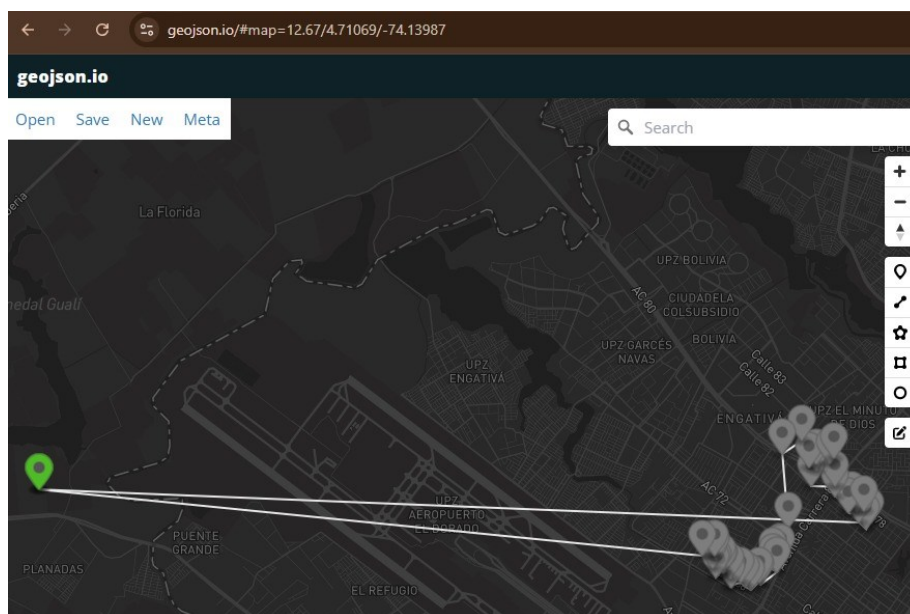
### Zona 1:

Esta se compone de 43 nodos con un tiempo de recorrido de 355 minutos iniciando el recorrido desde la planta de producción para dirigirse al Nodo1, DEPOSITO DE MADERAS EL CEDRO ORTIZ, con dirección Calle 77A No 80A- 57 y coordenadas 4.6984676, -74.09821529999999 y terminando en el Nodo77, MADERPUNTO con dirección Carrera 94 No 68- 59 y coordenadas 4.6950325, -74.1152355.

| ZONA | CANTIDAD DE NODOS | NODOS  |
|------|-------------------|--|
| 1    | 43                | 1,8,131,16,101,87,60,11,2,80,106,111,47,132,45,110,71,9,107,198,182,113,12,167,37,124,150,59,50,6,108,141,122,10,155,139,26,134,34,35,115,157,77 |

### ANEXO 1

A continuación, se presenta el mapa geográfico de la ruta que representa el recorrido de recolección de residuos en las industrias ubicadas en la zona 1



### Zona 2:

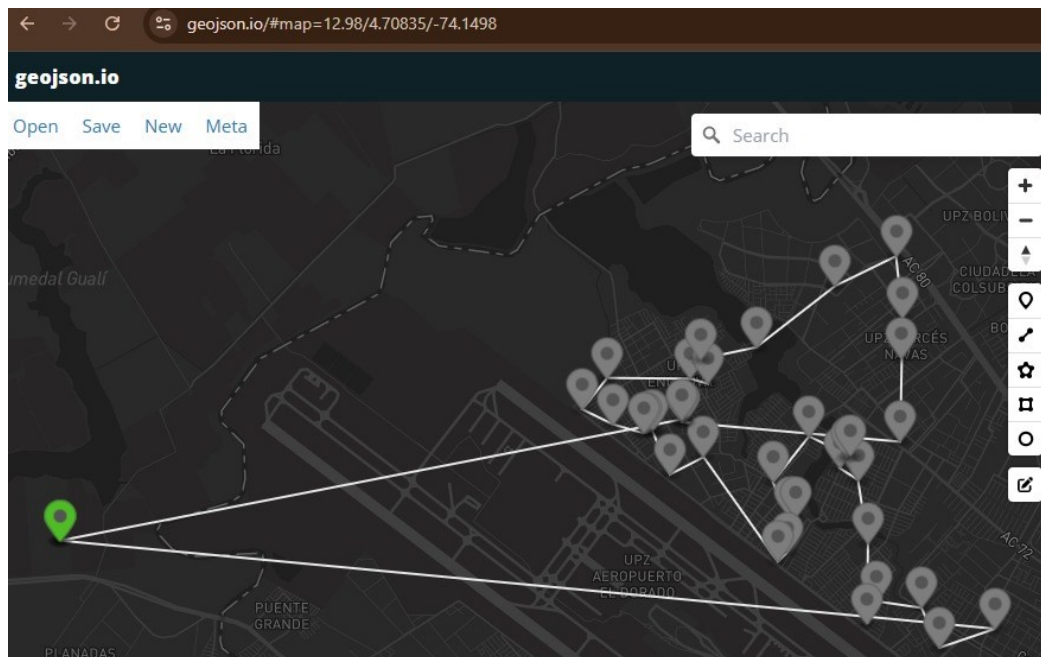
Esta se compone de 37 nodos con un tiempo de recorrido de 345 minutos iniciando el recorrido desde la planta de producción para dirigirse al Nodo109, DIARYO

INMOBILIARIO "JOSE DARIO GARCIA EVANS", con dirección Calle 68A No 94- 45 y coordenadas 4.6954289, -74.11550679999999 y terminando en el Nodo127, MADERAS SORIS con dirección Transversal 113 F No.64 C 03 y coordenadas 4.7107313, -74.1385262.

|   |    |   |   |
|---|----|---|---|
| 2 | 37 | 109,91,95,76,33,145,30,123,184,61,103,186,181,160,148,46,104,28,83,191,165,137,175,176,29,177,85,180,146,171,58,6<br>5,79,114,129,130,127 | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 2<br>345 |
|---|----|---|---|

## ANEXO 1

A continuación, se presenta el mapa geográfico de la ruta que representa el recorrido de recolección de residuos en las industrias ubicadas en la zona 2



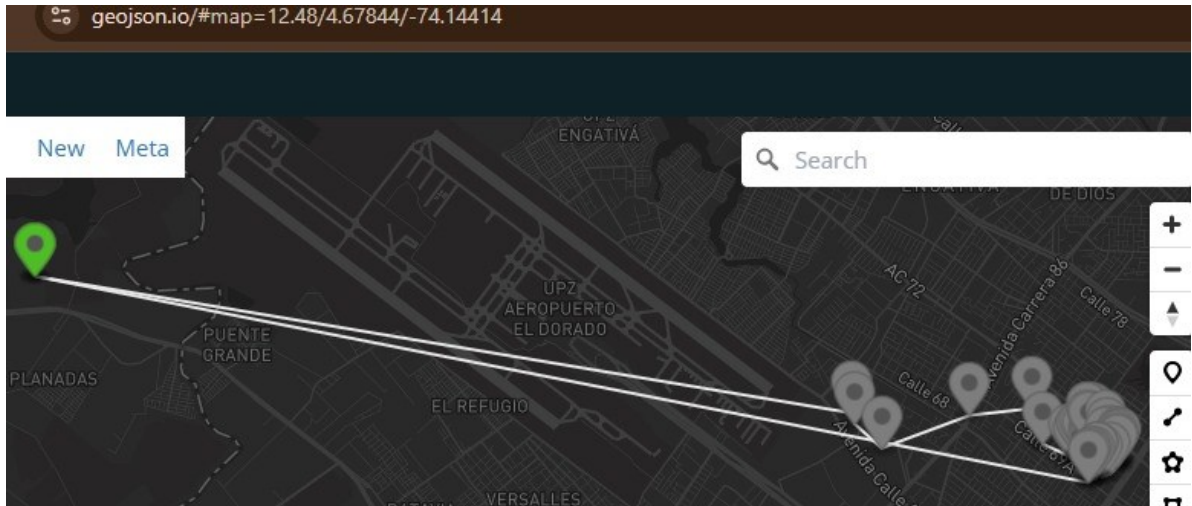
### **Zona 3:**

Esta se compone de 44 nodos con un tiempo de recorrido de 352 minutos iniciando el recorrido desde la planta de producción para dirigirse al Nodo125, "MANOS A LA OBRA INSTALACIONES DE PISOS S.A.S.", con dirección Carrera 95 No 94- 10 y coordenadas 4.6908944, -74.1182558 y terminando en el Nodo158, MADERAS NUEVO PLAYON con dirección Carrera 73 A No. 68B-87 y coordenadas 4.6852848, -74.0991317.

|   |    |   |   |
|---|----|---|---|
| 3 | 44 | 125,42,136,62,162,154,74,185,24,75,112,78,97,32,99,126,48,179,144,152,52,63,170,66,98,116,147,39,89,187,27,94,192,<br>81,166,149,38,119,43,163,41,4,194,158 | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 3<br>352 |
|---|----|---|---|

## ANEXO 1

A continuación, se presenta el mapa geográfico de la ruta que representa el recorrido de recolección de residuos en las industrias ubicadas en la zona 3



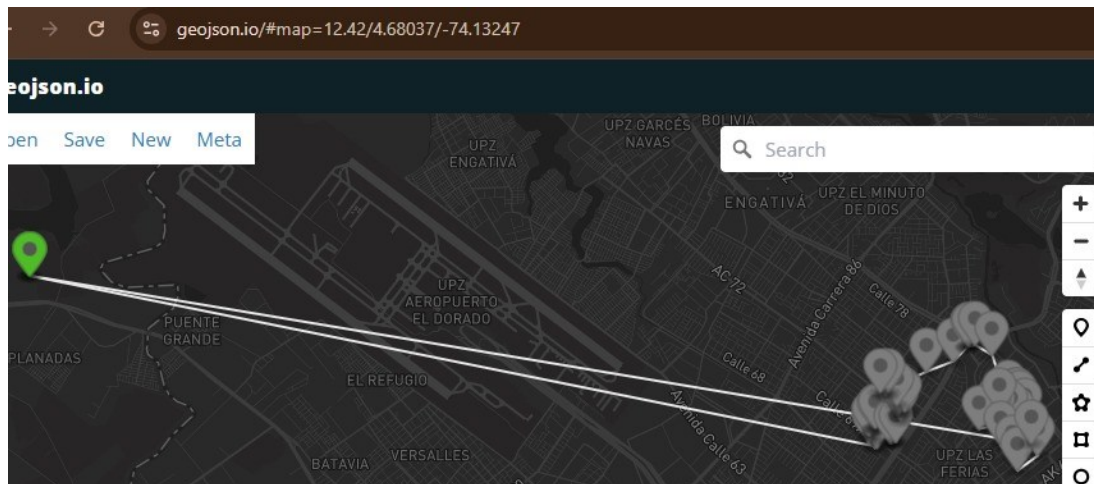
### **Zona 4:**

Esta se compone de 45 nodos con un tiempo de recorrido de 360 minutos iniciando el recorrido desde la planta de producción para dirigirse al Nodo121, ABAD 3D S.A.S. con dirección Carrera 73A No 68B- 41 y coordenadas 4.6848646, -74.0993865 y terminando en el Nodo18, LA OFICINA DE HOY LIMITADA con dirección Calle 78 No 68H- 71 y coordenadas 4.6850972, -74.083527

|   |    |  |   |
|---|----|--|---|
| 4 | 45 | 121,90,183,17,5,178,189,138,169,40,92,128,117,7,25,118,54,49,51,56,57,67,173,72,199,88,190,21,100,161,64,200,188,6<br>9,120,86,53,93,14,135,172,23,197,73,18 | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 4<br>360 |
|---|----|--|---|

## ANEXO 1

A continuación, se presenta el mapa geográfico de la ruta que representa el recorrido de recolección de residuos en las industrias ubicadas en la zona 4



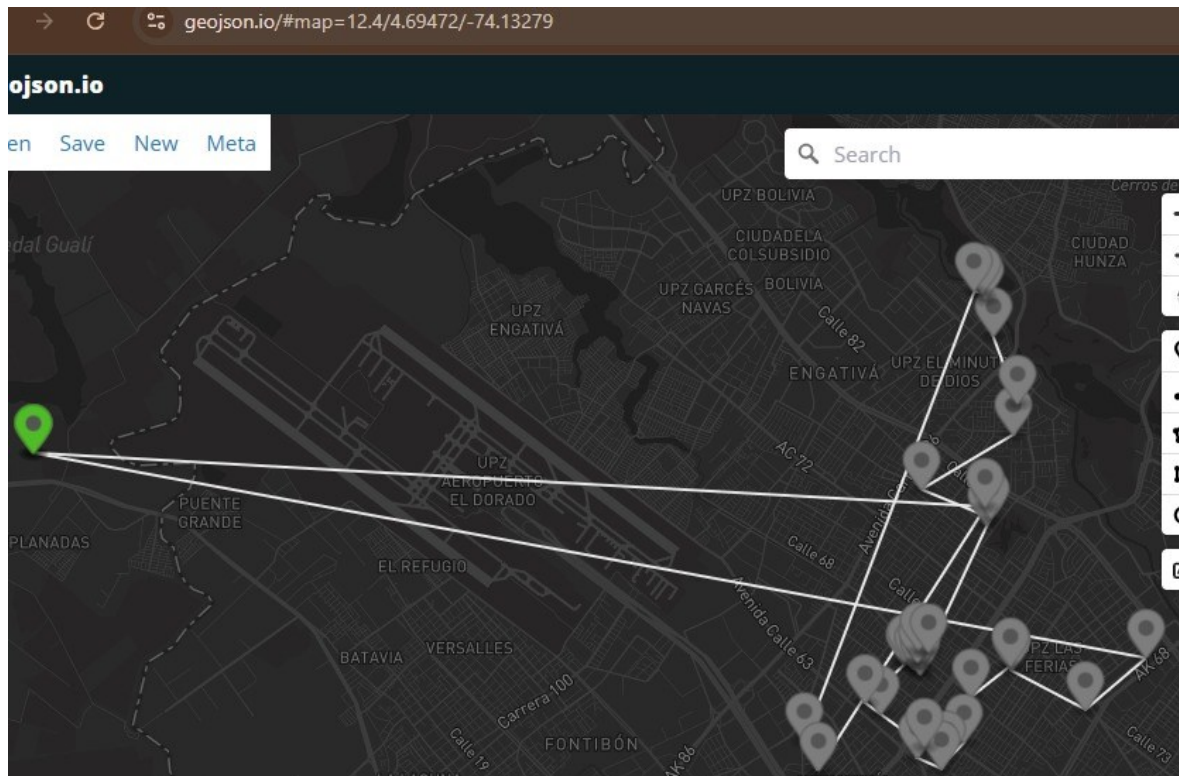
**Zona 5:**

Esta se compone de 45 nodos con un tiempo de recorrido de 360 minutos iniciando el recorrido desde la planta de producción para dirigirse al Nodo96, ALVARO RODRIGUEZ D MADERA. con dirección CR 68 B NO. 78 - 76 U 22 INT 3 y coordenadas 4.6830072, -74.0814736 y terminando en el Nodo203, IMMER ALFONSO VARGAS TELLEZ con dirección CL 77A No 77B-63 y coordenadas 4.696919299999999, -74.0962625

|   |    |   |                                    |
|---|----|---|------------------------------------|
| 5 | 34 | 96,36,156,159,195,174,164,196,82,153,133,20,193,44,140,84,202,31,168,3,102,68,55,151,70,19,201,106,142,143,22,13,15,203 | Tiempo Recorrido - Carga en Zona 5 |
|   |    |   | 317                                |

ANEXO 1

A continuación, se presenta el mapa geográfico de la ruta que representa el recorrido de recolección de residuos en las industrias ubicadas en la zona 5

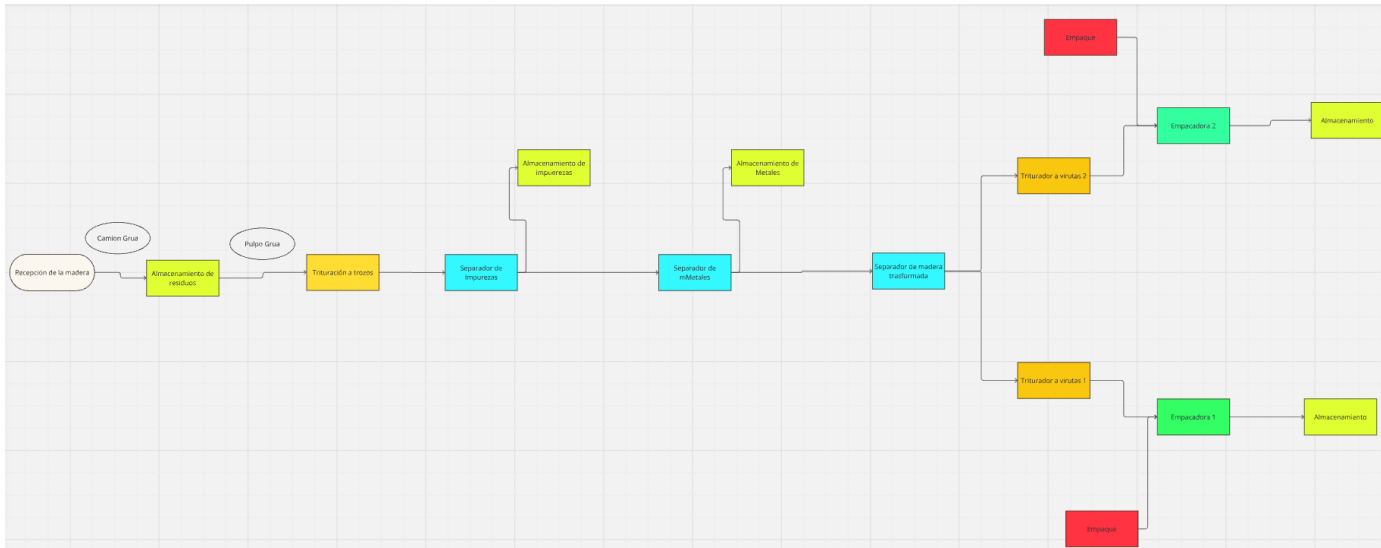


### **Fase de Procesamiento:**

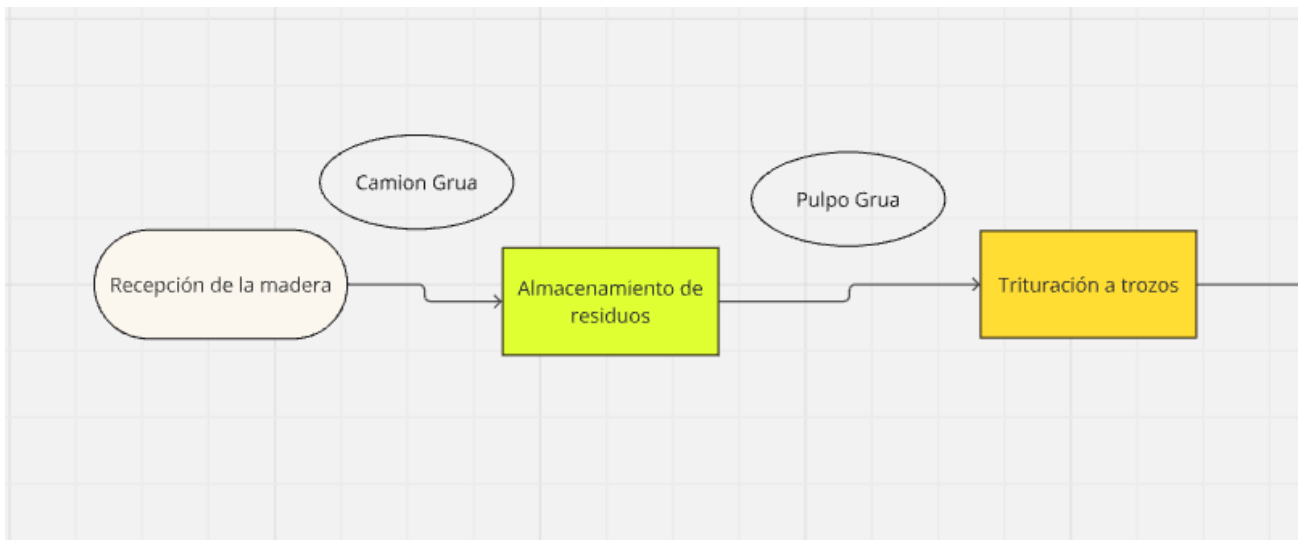
#### **➤ Proceso de los residuos**

Se obtienen mediante un proceso establecido en el sistema de producción en el cual se habilita un área específica de la zona de producción para la recepción y almacenamiento de la madera, posteriormente mediante el uso de un pulpo mecánico se toma la madera y se ingresa a la máquina de trituración, la madera ya como material triturado en el cual la madera queda en trozos entre 1 y 3 pulgadas se ingresa a la máquina que separa la madera tratada, pintada o contaminada la cual requiere procesos químicos para aprovechar estos residuos. Una vez este separa la madera se procede a ingresar la materia a la máquina de clasificación y separación de plásticos, metales, vidrios y piedras, después se pasa a una máquina de trituración que hará que la madera quede en un estado de finas virutas, por último, se traslada a la zona de empaquetamiento en donde quedara lista para su distribución y aplicación en el mercado.

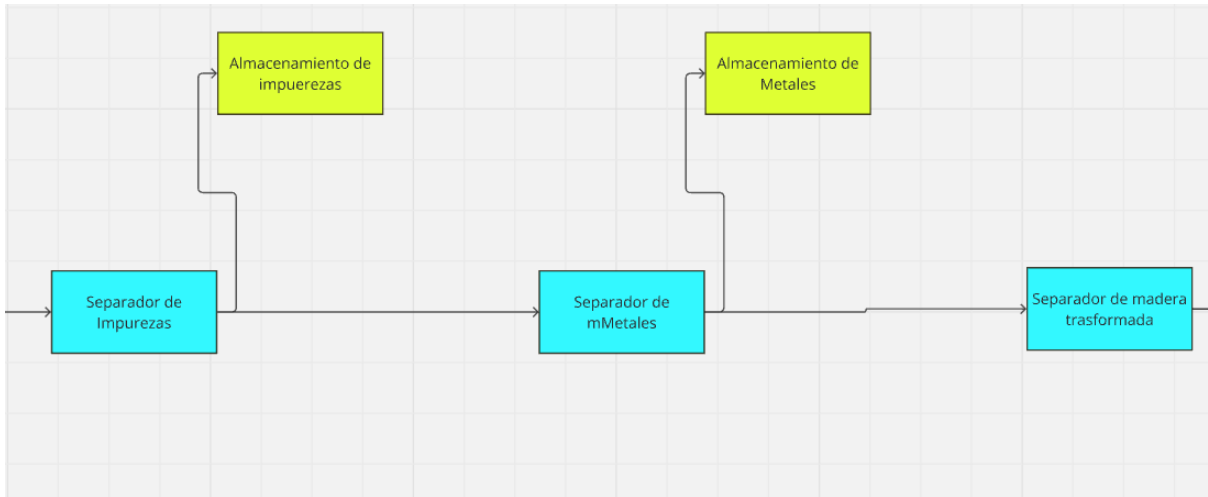
## Diagrama de flujo del Proceso del sistema de producción a simular en FelxSim



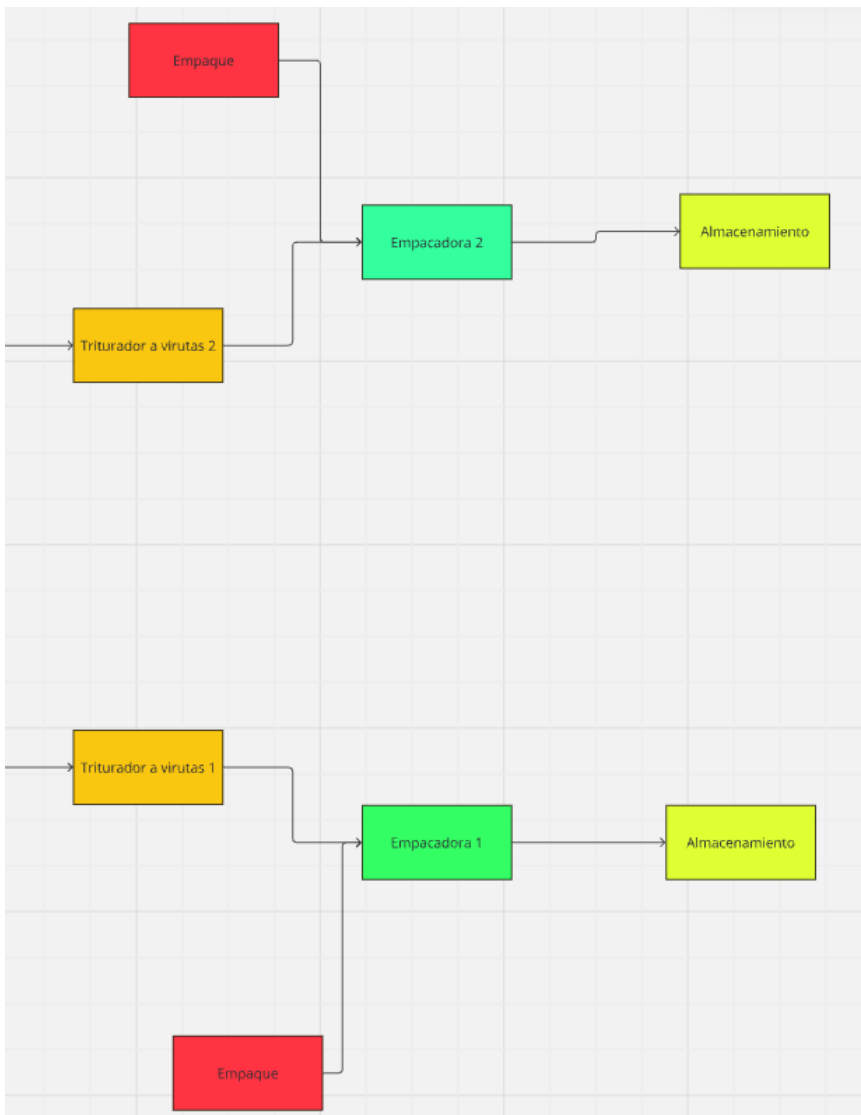
## Sistemas de recolección, almacenamiento y trituración a trozos



## Sistemas de separación de impurezas, metales y madera transformada.



Sistema de trituración a virutas, empaque y almacenamiento



## ➤ **Justificación de la elección de Maquinaria**

Se requiere de la maquinaria adecuada para realizar todos los procesos necesarios para que la madera llegue al estado necesario, para esto se deben tener en cuenta equipos industriales los cuales cuentan con la capacidad necesaria para minimizar los imprevistos, en cuanto a esto se entiende que inicialmente se eleva el costo de la planta de procesamiento ya que se requiere maquinaria con especificaciones las cuales aumentan su costo de adquisición

Para que el sistema funcione la maquinaria requerida debe cumplir con los requerimientos, sin embargo, se pueden evaluar estrategias como adquirir maquinaria que aún se conserve en buen estado y pueda realizar todas las funciones necesarias, con la diferencia que esta se adquiera en el mercado de maquinaria usada, sin duda es una alternativa eficaz para combatir los altos costos.

- **Camión de recogida de residuos:** Carga Superior 21m<sup>3</sup>, Masa Máxima Autorizada Desde 18.000 Kg
- **Pulpo grúa:** Capacidad de carga 2500 Kg
- **Maquinaria de trituración a trozos:** Capacidad 3600 kg/hora, Potencia 4 kW.
- **Máquina de limpiar impurezas:**
  1. Innovador sistema de clasificación NIR con cámara de imágenes hiperespectrales para la separación de plásticos, residuos verdes y residuos de madera.
  2. Sistema combinado con información de color para detectar botellas PET.
  3. Detección precisa de espectro completo con reconocimiento de objetos asistido por IA.  
(Steiner, Magnetic + Sensor Sorting Solutios)

- **Máquina de separación de madera transformada:** Detecta la madera revestida de pintura
- **Máquina de separación de metales:** Elimina el hierro y los metales no férricos de los residuos de madera
- **Máquina de trituración a virutas:** Capacidad 1.200 kg/hora, Potencia 5'5 25 CV/Kw.
- **Máquina de empaquetamiento:** Empacadoras para grandes producciones, se realiza el empaque en bolsas grandes de 1000 kilogramos
- **Cintas trasportadoras:** transporta los residuos de una maquina a otra.

### **Fase de Simulación y Evaluación con FlexSim:**

#### ➤ **Proceso de Simulación en Software FlexSim**

El proceso de simulación se realiza durante una jornada de 8h, con la implementación de

- 1 camión de recogida de residuos, operario 1
- 1 pulpo grúa, operario 2
- Almacenamiento de materia prima, operario 1 y 2
- Almacenamiento de impurezas y metales, operario 14 y 17
- 1 máquina de trituración a trozos, operario 3
- 1 máquina de limpiar impurezas, operario 4
- 1 máquina de separación de metales, operario 5
- Almacenamiento de impurezas y metales, operario 14 y 17
- 1 máquina de separación de madera transformada, operario 6
- 2 máquinas de trituración a virutas, operario 7 y 8
- 2 máquinas de empaquetamiento operario 9 y 10

- 10 conexiones de cintas transportadoras, operarios 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21.
- Almacenamiento de virutas de madera transformada y no transformada, operario 22

## **1. Recolección de los residuos**

- ✓ El operario 1 se traslada hacia las rutas y realiza la recolección de los residuos de madera en el camión grúa una vez haya terminado o agotado la capacidad máxima, este vuelve a la planta de producción y deja los residuos en la zona de almacenamiento.
- ✓ El operario 2 utiliza el pulpo grúa para trasladar los residuos de madera desde la zona de almacenamiento hasta la trituradora a trozos.

## **2. Proceso de residuos a materia prima**

- ✓ La materia prima pasa por una trituradora a trozos que procesa 3600kg por hora operada por el operario 3.
- ✓ Después la materia prima pasa por medio de cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 11 hacia la máquina de separar impurezas operada por el operario 4.
- ✓ La madera libre de impurezas pasa por medio de cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 12 y 13 hacia la máquina de separación de metales operada por el operario 5, Al mismo tiempo las impurezas pasan por cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 14 hacia la zona de almacenamiento de impurezas.

- ✓ La madera libre de metales pasa por medio de cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 15 y 16 hacia la máquina de separación de madera transformada operada por el operario 6, Al mismo tiempo los metales pasan por cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 17 hacia la zona de almacenamiento de metales.
- ✓ La madera no transformada pasa por medio de cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 18 y 19 hacia la máquina 1 de trituración a virutas que procesa 1.200kg por hora operada por el operario 7, Al mismo tiempo la madera transformada pasa por cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 20 y 21 hacia la máquina 2 de trituración a virutas que procesa 1.200kg por hora operada por el operario 8.
- ✓ Después las virutas de madera no transformada pasan por medio de cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 9 hacia la máquina 1 de empaquetamiento que empaca 1000 kg por hora operada por el operario 9, al mismo tiempo las virutas de madera transformada pasan por cintas transportadoras operadas y supervisadas por el operario 10 hacia la maquina 2 de empaquetamiento que empaca 1000 kg por hora operada por el operario 10
- ✓ Por ultimo las virutas de madera transformada y no transformada pasan a una zona de almacenamiento operada por el operario 22 que almacena la madera no transformada y el operario 23 que almacena la madera transformada

### **3. Parámetros del sistema**

- Determina la cantidad promedio de residuos que se pueden recibir para realizar la producción con la maquinaria requerida.

- Facilita el seguimiento de cada uno de los procesos que efectúan tanto la maquinaria como los operarios.
- Simula con datos reales una situación de procesamiento que se puede replicar sin cuellos de botella en la vida real.
- Dentro del sistema se obtienen los datos para verificar los procesos con gráficos y estadísticas que permiten visualizar el cumplimiento.
- Utiliza estrategias logísticas de implementación de la maquinaria requerida en el proceso de generación de materia prima libre de impurezas que permiten librar los residuos de elementos externos e incrustados

#### **Aspectos Normativos y Legales en la Gestión de Residuos:**

- **Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018 – 2022:** “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” mediante la Ley 1955 de 2019.
- **Plan de gestión de residuos sólidos PGIRS:** Decreto 2981 de 2013 para la gestión de residuos sólidos, favorables para el tratamiento, aprovechamiento y aseo de estos. En la Resolución 754 de 2014, se implementan metodologías para formular, implementar, evaluar, realizar un seguimiento y control de los PGIRS. (Ministerio de ambiente).
- **Plan para el Manejo Integral de Residuos Sólidos PMIRS:** “Este está basado en las actividades de los procesos, y encaminado al cumplimiento de las directrices de la Política del Sistema Integrado de Planeación y Gestión” (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo)

## **Análisis de Resultados**

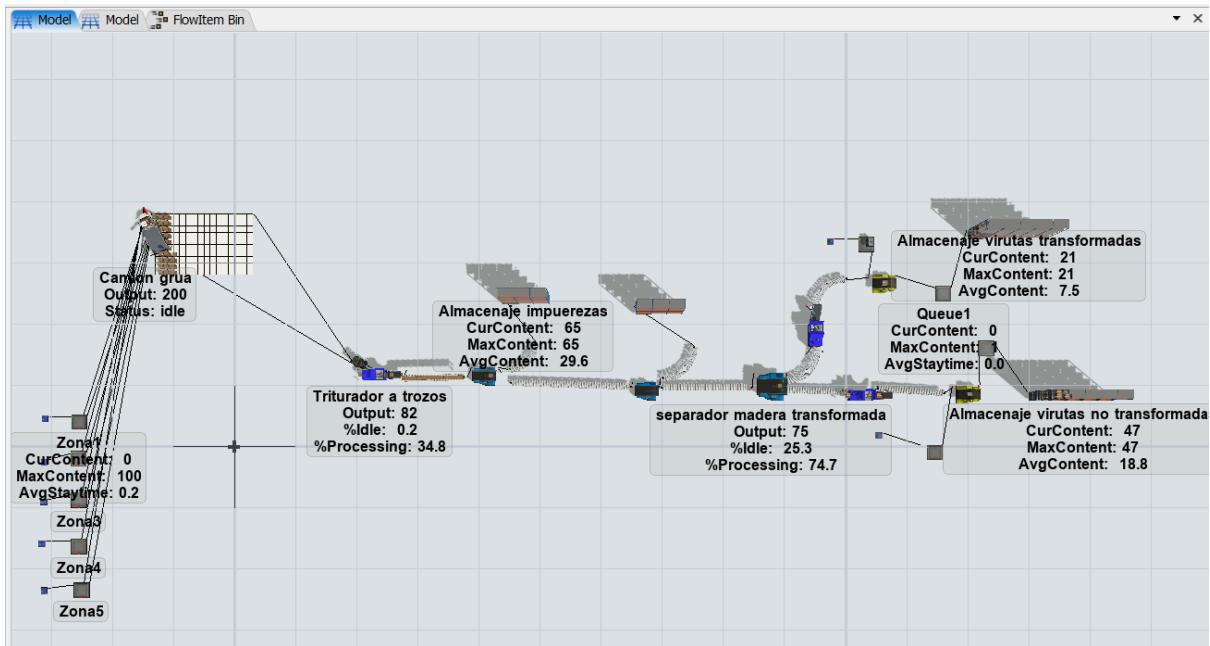
En el desarrollo de la simulación se toman en cuenta inicialmente la unión de los residuos para simular la separación de estos, en donde podemos observar el almacenamiento de las impurezas y los metales, además de la trituración y empaquetamiento de la madera transformada suponiendo que en el proceso se obtendría el 30% después de separar metales la cual contienen agentes químicos, y además la madera no transformada suponiendo que en el proceso se obtendría el 70% después de separar metales, la cual se encuentra libre de impurezas por lo tanto en base a los resultados obtenidos en la simulación se estima que el 30% hace parte un 20% de impurezas y un 10% de metal

## **Resultados Obtenidos:**

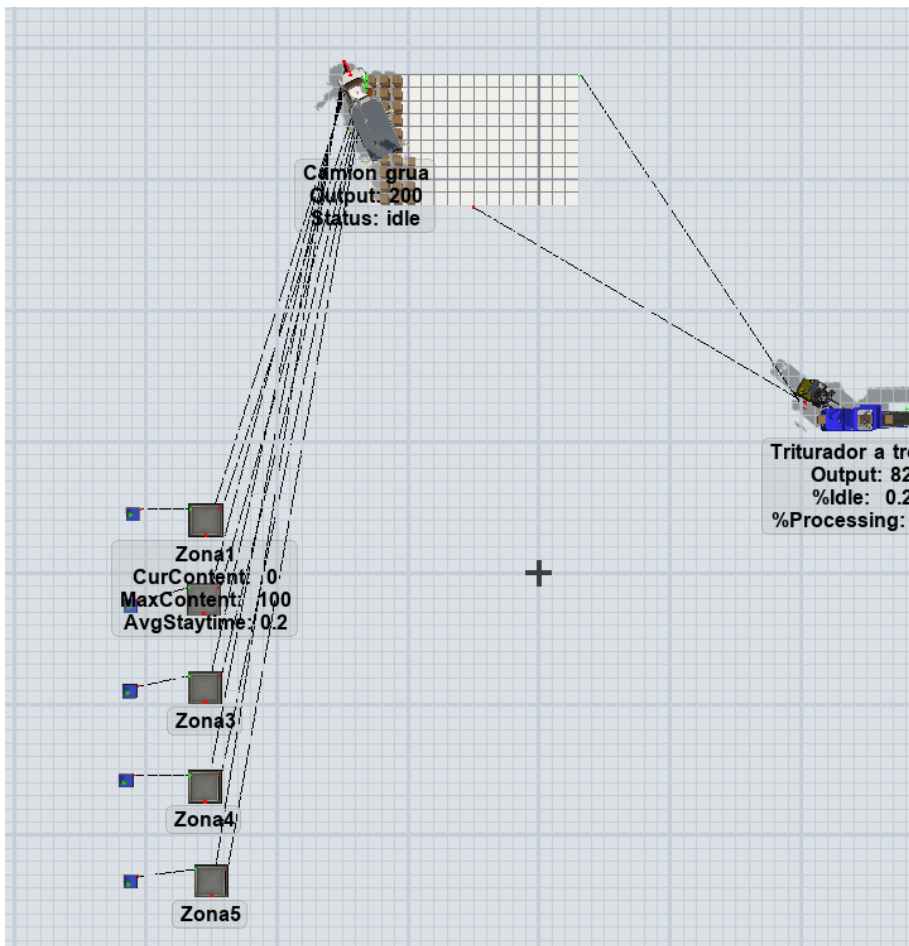
### **Descripción**

Se realiza la simulación desde el proceso de gestión de la madera y residuos, y logística de adquisición, hasta su correcto procesamiento y separación, Inicialmente se utilizan parámetros que simulan como las impurezas y metales se reciben de las industrias ya mezcladas con la madera, para después de utilizar un elemento de combinación, iniciamos con el sistema de transporte, una vez este inicia su recorrido toma el material y lo lleva a la zona de almacenaje, también se incluyó un parámetro que permita tener residuos en la zona de almacenaje lo cual hace que la simulación inicie desde las 8:00 am con el material disponible en almacenamiento, después el servicio de grúa lleva el material hacia la trituradora a trozos que después de una hora envía el material a al proceso de separación donde se separa primero las impurezas y después el sistema de separación de metales, para después iniciar con el proceso de trituración, para finalmente realizar el empaquetamiento y almacenaje correspondiente según el material, ya sea madera transformada y no transformada.

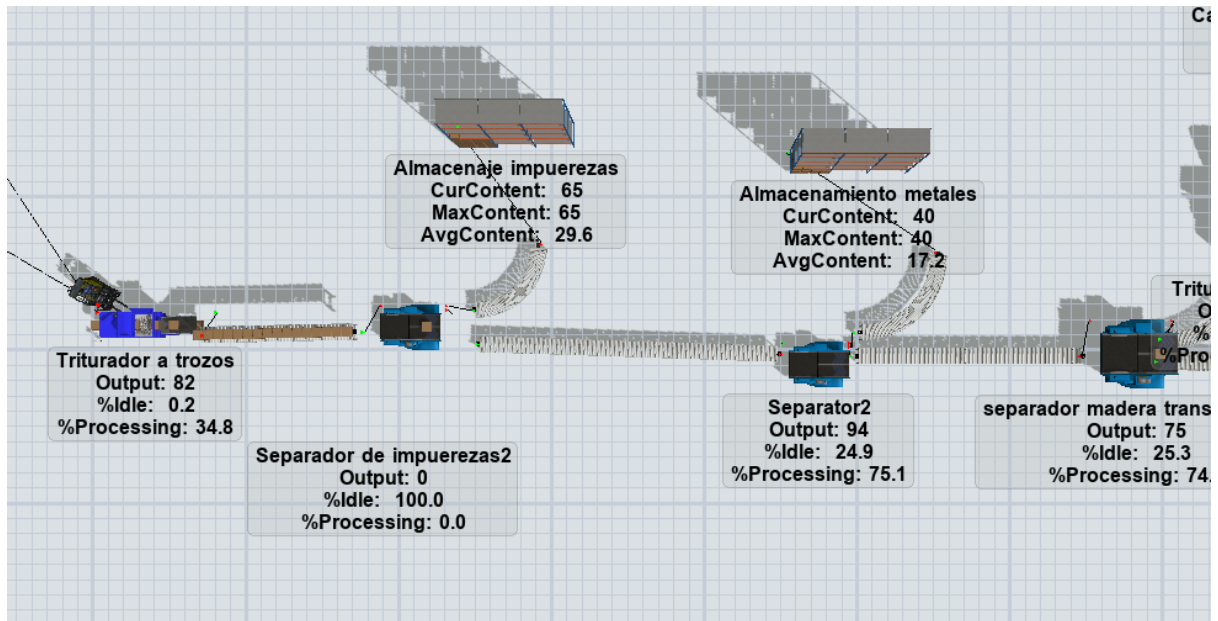
## Sistema de simulación en FlexSim (ANEXO 4)



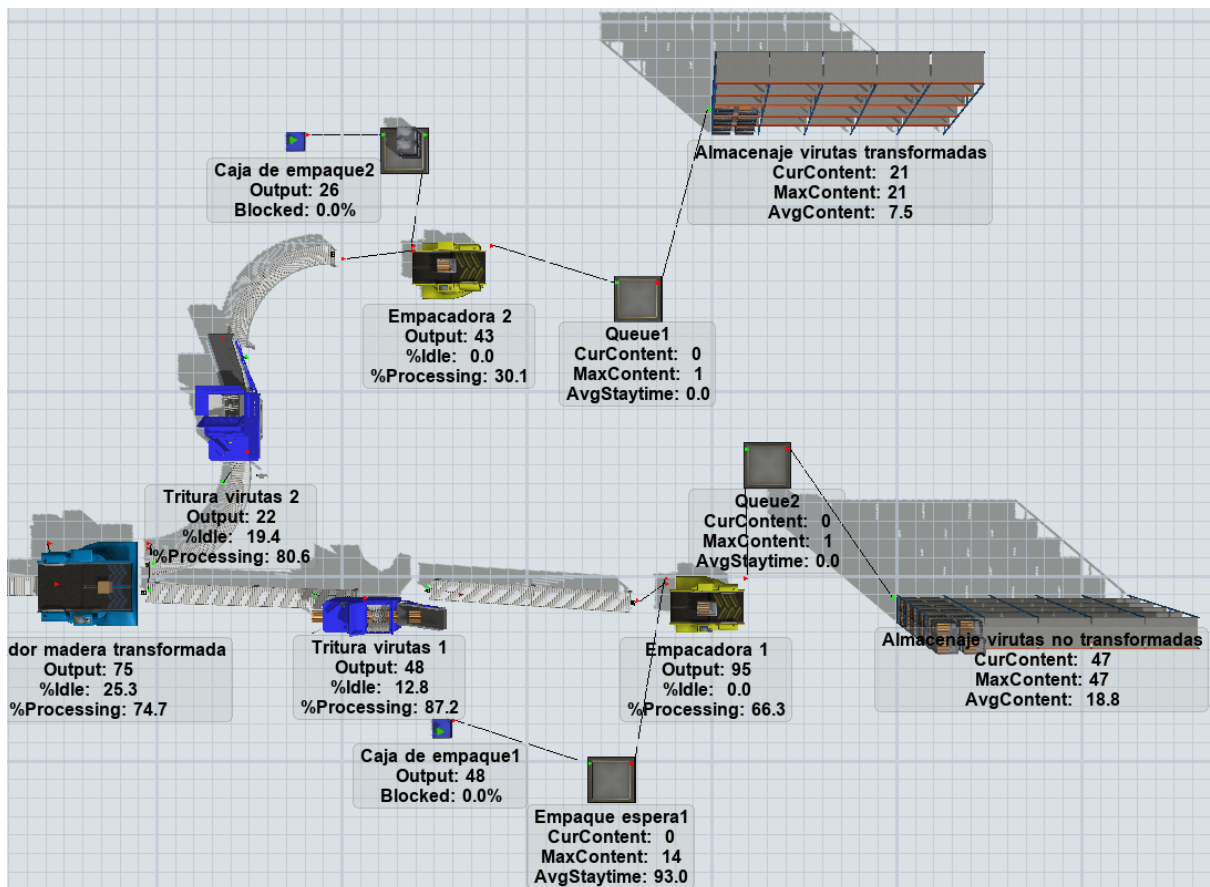
Sistema de recolección de zonas a almacenamiento de la planta.



Trituración a trozos y separación de Impurezas, metales y madera transformada.



Trituración a virutas, empaque y almacenamiento madera transformada y no transformada como materia prima.



## Comparación de resultados

Se obtiene que durante la jornada se realizan la producción de 47 toneladas de madera transformada y 21 toneladas de madera no transformada en lo cual podemos proyectar que para una jornada de 8h durante 24 días de proyecta la fabricación de 1128 toneladas de madera no transformada y 504 toneladas de madera transformada

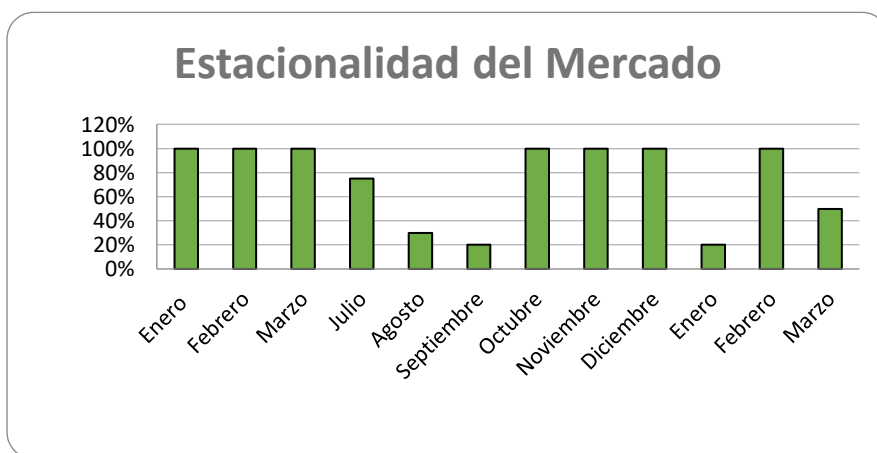
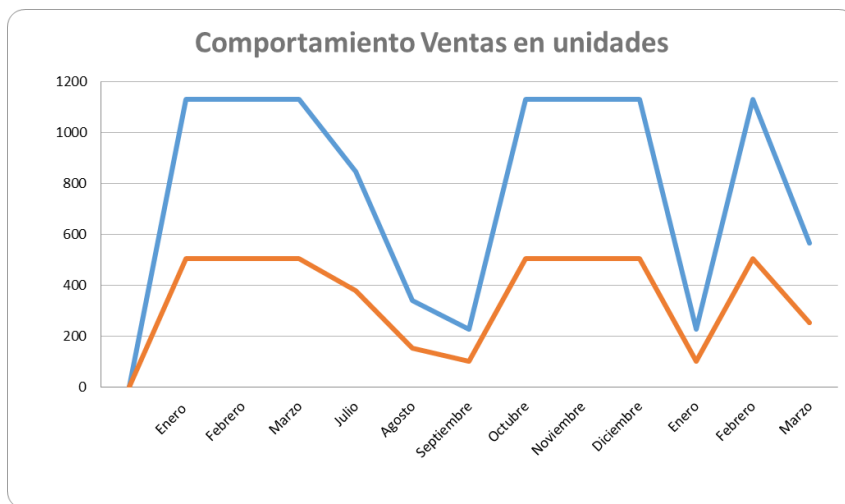
| Análisis Capacidad Instalada    |                 | Numero de Dias Trabajados    | 24                       |
|---------------------------------|-----------------|------------------------------|--------------------------|
| Capacidad Instalada en unidades | Num Unidades    | Numero unidades Maximas /Dia | Numero Unidades Max. Mes |
|                                 | No transformada | 47                           | 1128                     |
|                                 | Transformada    | 21                           | 504                      |
| <b>Totales</b>                  |                 | 68                           | 1632                     |

Si proyectamos a un periodo de un año con los porcentajes aproximados de capacidad instalada utilizada, en la producción logramos obtener que durante el primer año se obtendrían 10.095 toneladas de madera no transformada y 4.510 toneladas de madera transformada, para un total de 14.606 toneladas de virutas de madera producidas en un año

| Porcentaje de Capacidad Instalada Utilizada | 100%  | 100%    | 100%  | 75%   | 30%    | 20%        |
|---|-------|---------|-------|-------|--------|------------|
|   | Enero | Febrero | Marzo | Julio | Agosto | Septiembre |
| No transformada                             | 1128  | 1128    | 1128  | 846   | 338,4  | 225,6      |
| Transformada                                | 504   | 504     | 504   | 378   | 151,2  | 100,8      |
|   | 1632  | 1632    | 1632  | 1224  | 489,6  | 326,4      |

| 100%    | 100%      | 100%      | 20%   | 100%    | 50%   |           |
|---------|-----------|-----------|-------|---------|-------|-----------|
| Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero | Febrero | Marzo | Total año |
| 1128    | 1128      | 1128      | 225,6 | 1128    | 564   | 10095,6   |
| 504     | 504       | 504       | 100,8 | 504     | 252   | 4510,8    |
| 1632    | 1632      | 1632      | 326,4 | 1632    | 816   | 14606,4   |

Se logra establecer un comportamiento favorable en base a la estacionalidad del mercado y las proyecciones en cuanto al comportamiento de las ventas.

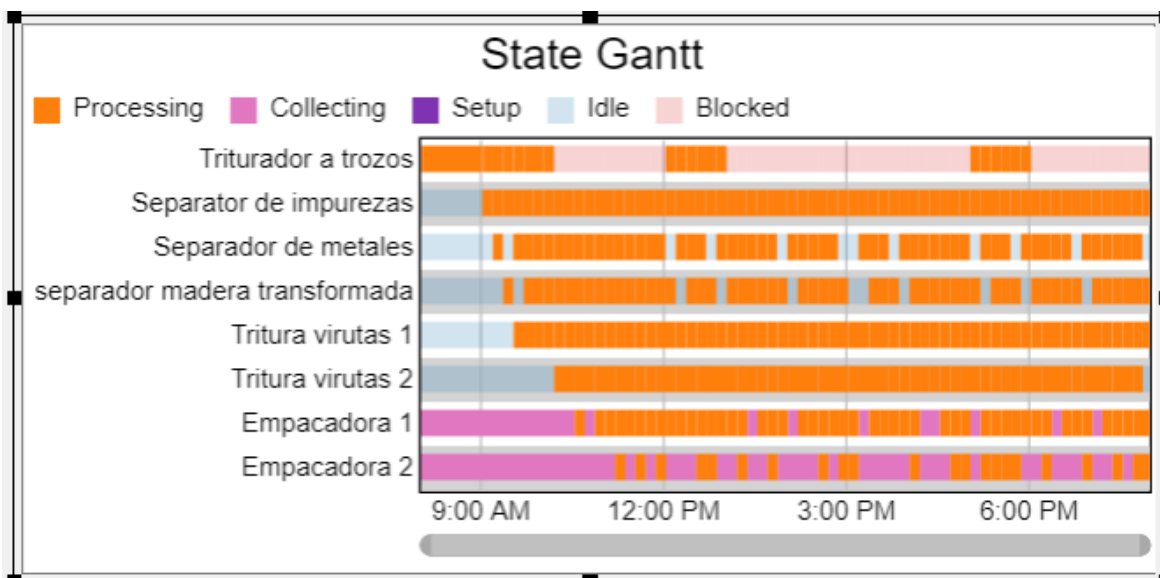


(ANEXO 2 Plantilla financiera)

### **Evaluación del desempeño.**

En la siguiente grafica se logra detallar el cumplimiento del sistema en cada una de las etapas de procesamiento, cumpliendo con la jornada programada y ejecutando las gestiones planteadas, las trituradoras establecen su proceso de acuerdo con los tiempos de ejecución de la maquinaria y la cantidad de carga. Durante la primera hora solo realiza el funcionamiento la trituradora a trozos ya que esta requiere de una hora de procesamiento para realizar la

trituration a trozos, después proceden las maquina separadoras que realizan funciones continuas sin tiempo, mientras que las trituradoras inicia sus procesos después de que la separadora de madera transformada termina, por ultimo las empacadoras inician el proceso de empaque una vez la triturara haya realizado el proceso, en conclusión cada maquina tiene su hora de funcionamiento en la jornada, esto depende de que la maquina anterior haya realizado el proceso necesario para que la siguiente continúe con lo requerido.



(ANEXO 4)

### Impacto Técnico y Práctico:

#### Impacto técnico.

Mediante la simulación se logró determinar que es posible orientar los residuos de madera hacia el desarrollo de materia prima a base de esta y libre de todas las impurezas que esta conlleva, inicialmente durante el desarrollo del proyecto se planteó la idea de solo desarrollar materia prima libre de impurezas, sin embargo para cumplir los objetivo de reutilización de la madera al 100%, mediante el desarrollo continuo del proyecto se destacó realizar una alternativa con la madera transformada (madera con pintura), en la cual se le aplica el mismo proceso que a la madera no transformada, a pesar de no estar libre de impurezas, esta tiene un

potencial económico y además se cumple con el objetivo de aprovechamiento, las impurezas, se almacenan en zonas específicas para estos, ya que este material una vez separado es potencialmente aprovechable en otros sectores.

### **Análisis del potencial práctico y su aplicabilidad en escenarios reales.**



(ANEXO 4)

Se logra determinar que el funcionamiento y la utilidad aprovechable de la maquinaria en los procesos es de un mínimo de 63.55% en el proceso de empaque de madera transformada y un máximo de 91.40% en el proceso de separación de impurezas, lo cual permite determinar que el sistema realiza una función de producción favorable para el desarrollo de la materia prima libre de impurezas a base de residuos de madera.

## Análisis Crítico:

### Limitaciones del sistema.

## Content

| Object                              | Current | Minimum | Maximum | Average |
|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Triturador a trozos                 | 36      | 0       | 36      | 35.85   |
| Separator de impurezas              | 1       | 0       | 1       | 0.91    |
| Separator de metales                | 0       | 0       | 1       | 0.75    |
| separator madera transformada       | 1       | 0       | 1       | 0.75    |
| Tritura virutas 1                   | 5       | 0       | 6       | 4.19    |
| Empacadora 1                        | 1       | 0       | 2       | 1.00    |
| Tritura virutas 2                   | 0       | 0       | 5       | 1.83    |
| Empacadora 2                        | 1       | 0       | 2       | 1.00    |
| Almacenaje impurezas                | 65      | 0       | 65      | 29.65   |
| Almacenamiento metales              | 40      | 0       | 40      | 17.20   |
| Almacenaje virutas no transformadas | 47      | 0       | 47      | 18.80   |
| Almacenaje virutas transformadas    | 21      | 0       | 21      | 7.47    |

## Staytime 1

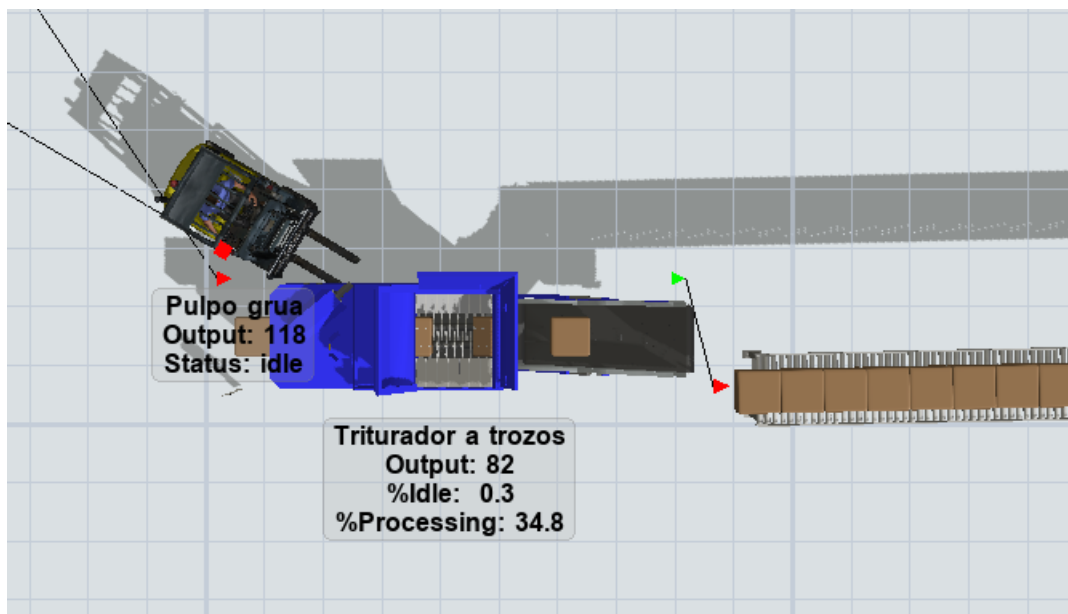
| Object                        | AvgStaytime | MinStaytime | MaxStaytime |
|-------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Triturador a trozos           | 234.47      | 60.00       | 359.37      |
| Separator de impurezas        | 5.46        | 0.00        | 10.00       |
| Separator de metales          | 5.74        | 0.00        | 10.00       |
| separator madera transformada | 7.07        | 0.00        | 10.00       |
| Tritura virutas 1             | 60.00       | 60.00       | 60.00       |
| Tritura virutas 2             | 60.00       | 60.00       | 60.00       |

(ANEXO 4)

Como parte de las limitaciones están la cantidad que procesa cada maquina y el tiempo determinado de cada una, en base a esto, cuando inicia la jornada la única máquina que opera durante la primera hora es la trituradora a trozos ya que las fases de procesamiento son codependientes, por ejemplo, los separadores no pueden iniciar su proceso sin que la trituradora a trozos tenga el material listo, este al ser un proceso lineal y codependiente hace que el tiempo de la jornada se consuma en la cola de espera de procesamiento.

## Áreas de mejora y posibles ajustes

Inicialmente el sistema puede llegar a tener tiempos que se consumen en cola, pero se pueden aplicar estrategias para que haya material disponible para que las maquinas logren iniciar sus procesos una vez empiece la jornada, esto es posible lograrlo un aves se establezca una continuidad, ya que durante el tiempo de operación y la finalización de la jornada existirá materia pendiente de procesar y es ahí cuando será posible implementar estrategias como, implementar un almacenamiento proporcional para material sin procesar, mantener un control sobre el material pendiente de procesar para así no sobre ocupar el almacenamiento de residuos.



(ANEXO 4)

## Análisis de costos

En cuanto a su costo de producción este se determinó en base a la cantidad de operarios y cantidades producidas en el día realizados en la simulación además de la depreciación asociada a cada una de las maquinarias en cuento a unidades producidas, en base a esto tenemos que la madera no transformada y la transformada tienen un costo de producción de 123.610 pesos colombianos.

| No transformada    |          |               |                |                  |
|--------------------|----------|---------------|----------------|------------------|
| Item               | Cantidad | Unidad Medida | Valor Unitario | Valor Total      |
| Adquisición        | -        |               | 0,00           | -                |
| Empaque            | 1        | metros        | \$ 10.000      | 10.000           |
| Mano obra          | 21       | personas      | \$ 5.410       | 113.610          |
| <b>Costo Total</b> |          |               |                | <b>123610,00</b> |

**Virutas de Madera 100% libre de impurezas**

| Transformada       |          |               |                |                |
|--------------------|----------|---------------|----------------|----------------|
| Item               | Cantidad | Unidad Medida | Valor Unitario | Valor Total    |
| Adquisición        | -        |               | \$ -           | -              |
| Empaque            | 1        | metros        | \$ 10.000      | 10.000         |
| Mano obra          | 21       | personas      | \$ 5.410       | 113.610        |
| <b>Costo Total</b> |          |               |                | <b>123.610</b> |

**Virutas de madera Madera con agentes quimicos**

| Producto   | Nombre          | Costo de Producción | Margen | Precio de Venta Mercado | Margen en Pesos |
|------------|-----------------|---------------------|--------|-------------------------|-----------------|
| Producto 1 | No transformada | \$ 123.610          | 100%   | \$ 247.220              | \$ 123.610      |
| Producto 2 | Transformada    | \$ 123.610          | 60%    | \$ 197.776              | \$ 74.166       |

| Producto        | Costos Producción | Precios de Venta | Costos Fijos   | Punto de Equilibrio en Unidades | Punto de Equilibrio en Pesos |
|-----------------|-------------------|------------------|----------------|---------------------------------|------------------------------|
| No transformada | \$ 123.610        | \$ 247.220       | \$ 312.000.000 | 3.155                           | \$ (702.000.000)             |
| Transformada    | \$ 123.610        | \$ 197.776       | \$ 312.000.000 |                                 |                              |
| Promedio        | \$ 123.610        | \$ 222.498       | \$ 312.000.000 |                                 |                              |

## (ANEXO 2 Plantilla financiera)

En cuanto a los gastos fijos se determinaron variables generales del promedio en base a la maquinaria a utilizar y los requerimientos necesarios para el funcionamiento operacional del proyecto, enfocándonos a si en el primer año 312.000.000 millones de pesos colombianos y

orientando las proyecciones hacia el segundo año con 346.320.000 millones de pesos colombianos y para un tercer año los gastos fijos se proyectan sobre 384.415.200.

| Gastos                   | Año 1                 | Año 2                 | Año 3                 |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| servicios                | \$ 120.000.000        | \$ 133.200.000        | \$ 147.852.000        |
| Publicidad               | \$ 60.000.000         | \$ 66.600.000         | \$ 73.926.000         |
| Salario supervisor       | \$ 24.000.000         | \$ 26.640.000         | \$ 29.570.400         |
| Salarios Administrativos | \$ 36.000.000         | \$ 39.960.000         | \$ 44.355.600         |
| Dotacion                 | \$ 36.000.000         | \$ 39.960.000         | \$ 44.355.600         |
| Suministros              | \$ 36.000.000         | \$ 39.960.000         | \$ 44.355.600         |
| <b>Totales</b>           | <b>\$ 312.000.000</b> | <b>\$ 346.320.000</b> | <b>\$ 384.415.200</b> |

(ANEXO 2 Plantilla financiera)

Para determinar la viabilidad del proyecto, se toman los resultados de la simulación y los costos operacionales para realizar las proyecciones de costos orientadas a generación de la materia prima

**Proyecciones**

|                                     | Año1 | Año2 | Año3 |
|-------------------------------------|------|------|------|
| Porcentaje de crecimiento en ventas | 0%   | 2%   | 4%   |
| Inflacion                           | 0%   | 11%  | 11%  |

| Proyeccion de Costos Año 1 |                 |            |
|----------------------------|-----------------|------------|
| Producto                   | Nombre          | Costo      |
| Producto 1                 | No transformada | \$ 123.610 |
| Producto 2                 | Transformada    | \$ 123.610 |

| Proyeccion de Costos Año 2 |                 |            |
|----------------------------|-----------------|------------|
| Producto                   | Nombre          | Costo      |
| Producto 1                 | No transformada | \$ 137.207 |
| Producto 2                 | Transformada    | \$ 137.207 |

| Proyeccion de Costos Año 3 |                 |            |
|----------------------------|-----------------|------------|
| Producto                   | Nombre          | Costo      |
| Producto 1                 | No transformada | \$ 152.300 |
| Producto 2                 | Transformada    | \$ 152.300 |

(ANEXO 2 Plantilla financiera)

En base a lo anterior podemos determinar que la proyección de costos de producción durante el primer año es de 1.699.291.392 millones de pesos colombianos, para el segundo año se orientan hacia los 1.923.937.714 millones de pesos colombianos y para finalizar con las proyecciones orientadas al tercer año por valor de 2.220.993.697.

| Costos Totales de Produccion |                 |                         |                         |                         |
|------------------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Producto                     | Nombre          | Año 1                   | Año 2                   | Año 3                   |
| Producto 1                   | No transformada | \$ 1.380.674.256        | \$ 1.563.199.393        | \$ 1.804.557.379        |
| Producto 2                   | Transformada    | \$ 318.617.136          | \$ 360.738.321          | \$ 416.436.318          |
| <b>Total Costos por año</b>  |                 | <b>\$ 1.699.291.392</b> | <b>\$ 1.923.937.714</b> | <b>\$ 2.220.993.697</b> |

(ANEXO 2 Plantilla financiera)

En cuanto a inversión el total requerido para la implementación de la maquinaria son aproximadamente 1.798.000.000 según el mercado al día de la adquisición.

| Maquinaria                  | Años | porcentaje | Precio                  | Depreciacion anual |
|-----------------------------|------|------------|-------------------------|--------------------|
| Camion Grúa                 | 10   | 10%        | \$ 202.500.000          | \$ 20.250.000      |
| Pulpo Grúa                  | 10   | 10%        | \$ 20.500.000           | \$ 2.050.000       |
| Trituradora a troos         | 10   | 10%        | \$ 225.000.000          | \$ 22.500.000      |
| Separador impurezas         | 10   | 10%        | \$ 350.000.000          | \$ 35.000.000      |
| Separador metales           | 10   | 10%        | \$ 350.000.000          | \$ 35.000.000      |
| Separador Madera            | 10   | 10%        | \$ 350.000.000          | \$ 35.000.000      |
| Triturador a virutas 1      | 10   | 10%        | \$ 150.000.000          | \$ 15.000.000      |
| Triturador a virutas 2      | 10   | 10%        | \$ 150.000.000          | \$ 15.000.000      |
| <b>Inversion Maquinaria</b> |      |            | <b>\$ 1.798.000.000</b> |                    |

(ANEXO 2 Plantilla financiera)

## **Conclusiones**

En cuanto al sistema de recolección, se establece un sistema logístico que permite un adecuado acceso a las industrias que generan residuos de madera en la zona de Engativá Bogotá, mediante esta se establece la ubicación estratégica de la planta de producción lo cual permite que exista una coordinación favorable entre las industrias y la planta de producción, para este proceso se establecieron rutas mediante a zonas según su ubicación estratégica la cual el operario debe seguir en base a los requerimientos de la planta, en base a la implementación estratégica de un camión grúa este permite que para el operario se un proceso óptimo sin importar la ruta que realice en su jornada, ya que el proceso de carga y descarga se mecaniza mediante el uso de la grúa incorporada en el camión, permitiendo que se limiten los excesos de fuerza y exista una favorable optimización el tiempo de recolección de los residuos.

En base al sistema de producción se logra la creación de una línea de producción con la maquinaria óptima requerida la cual permite separar mediante estrategias logísticas de aprovechamiento los residuos que se mezclan con la madera reciclada, utilizando sistemas eficientes de separación. Para el desarrollo del sistema se optó por utilizar diferentes separadores para cada tipo de residuo, ya que, aunque existe la maquinaria que realiza este proceso de separación de residuos, metales y madera no transformada en un solo paso optimizando el tiempo de procesamiento, este no cumple con el objetivo de generar materia prima libre de impurezas, por lo cual realizar los procesos con máquinas especializadas para separar cada material permite que se realice un alto grado de separación de impurezas, cumpliendo así con el objetivo planteado.

Durante el desarrollo del proyecto destacó el residuo de madera transformada en el cual se planteó generar una línea de producción independiente de la madera libre de impurezas para cumplir con el objetivo de aprovechamiento de los residuos, como parte de esta medida se

establecen zonas de almacenamientos para los residuos metales e impurezas aprovechables que tienen potencial en la economía circular en diferentes sectores, permitiendo así que estas no sean desechados nuevamente sin aprovechar sus propiedades en la reutilización. A pesar de que se diseñó una línea de producción lineal, la cual compromete los tiempos de procesamiento, esta fue necesaria ya que los requerimientos planteados dependen de la gestión de cada maquinaria individualmente y continua. A pesar de lo anterior, en base a los resultados obtenidos logramos proyectar que se pueden generar las cantidades requeridas para un proceso de producción válido en el mercado y competente en cuanto a su funcionalidad si lo orientamos hacia la cantidad de productos a vender.

Se aplica el sistema de producción mediante una simulación utilizando el programa FlexSim, mediante la cual se logran establecer los procesos necesarios para convertir los residuos de madera en virutas de madera como materia prima libre de impurezas, en donde se introducen la maquinaria requerida para los procesos necesarios, ya sea la separación de residuos e impurezas o la determinación en aplicar la separación de madera transformada y no transformada, para culminar, en las zonas de almacenaje se orientan las impurezas compuestas de diferentes plásticos y residuos que se mezclan con la madera en diferentes procesos, además de los metales que se incrustan en la madera, este almacenamiento se realiza con el fin de orientar estos residuos a operaciones útiles en sectores potenciales en los cuales se logren reutilizar y en cuanto a la materia prima se logra la idea principal de generar materia prima libre de impurezas la cual según las necesidades pueden o no requerir procesos externos para las actividades a las que serán orientadas, ya sea para prensar y generar tabloncillos de madera reciclada o posiblemente como combustible para otros sectores de la industria, estos procesos también pueden ser aplicados a la madera transformada, la cual contiene por lo general agentes químicos tales como pintura sin separar de la madera.

## Referencias

Trinidad, L. Vega, L. Rendón, C. Tobón, S. (2019). Corporación Universitaria Remington Y Servicio Nacional de Aprendizaje. Aprovechamiento de residuos madereros.

<https://www.uniremington.edu.co/wp-content/uploads/libros-de-investigacion/aprovechamiento-de-residuos-madereros.pdf>

Trinidad, L. Vega, L. Rendón, C. Tobón, S. (2020) Universidad del Norte. Caracterización de los residuos de la industria maderera para su aprovechamiento en diferentes aplicaciones. <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v38n1/2145-9371-inde-38-01-104.pdf>

Rueda, A. Moreno, R. Zúñiga, J. (2016). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Guía De Compra y Consumo Responsable de Madera en Colombia. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Gui%CC%81a-de-Compra-y-Consumo-Responsable-de-Madera-en-Colombia.pdf>

IDEAM (2022). Sistema de monitoreo de bosques y carbono SMByC. Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque. <https://www.andi.com.co/Uploads/583212846-Sistema-de-Monitoreo-de-Bosques-y-Carbono.pdf>

FAO. Conservación de energía en las industrias mecánicas forestales. <https://www.fao.org/4/t0269s/t0269s10.htm#:~:text=Como%20ya%20se%20indic%C3%B3%20antes,para%20cubrir%20sus%20necesidades%20energ%C3%A9ticas.>

Peñalba, D. Pérez, I. (2022). Residuos de madera generados en talleres de carpintería del municipio de Camoapa. <https://www.camjol.info/index.php/CALERA/article/view/14271/17334>

Crisostomo, J. Miranda, J. (2023). Análisis Del Porcentaje De Desperdicio Generado En Las Partidas De Construcción De Edificaciones A Nivel De Casco Estructural Y

Propuesta De Uso, Cajamarca. Universidad Privada del Norte.

[file:///C:/Users/ginam/Downloads/10.%20TESIS%20CRISOSTOMO%20Y%20MIRANDA%202023\\_PDF\\_TOTAL.pdf](file:///C:/Users/ginam/Downloads/10.%20TESIS%20CRISOSTOMO%20Y%20MIRANDA%202023_PDF_TOTAL.pdf)

OIT. FAO. Instituto Forestal de Thünen (2022). El sector forestal emplea a 33 millones de personas en todo el mundo, según nuevas estimaciones mundiales.

<https://ilostat.ilo.org/es/blog/forest-sector-employs-33-million-around-the-world-according-to-new-global-estimates/>

Alcaldía Mayor De Bogotá.(2021) Modelo De Aprovechamiento.

[https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420\\_modelo\\_de\\_aprovechamiento.pdf](https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/20210420_modelo_de_aprovechamiento.pdf)

Canastero, R. (2012). El mal llamado desperdicio de madera: una oportunidad de desarrollo industrial con futuro. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://revista-mm.com/forestal/mal-llamado-desperdicio-madera-oportunidad-desarrollo-industrial-futuro/>

Zerabruk, F. Khennane, A. Liow, J. Hailu, B. Katoozi, E. (2023). Recycling timber waste into geopolymer cement bonded wood composites. Construction and Building Materials.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061823025096/pdf?md5=54d498ba745d7aeaf38d806fe8eb689c&pid=1-s2.0-S0950061823025096-main.pdf>

Retema. (2020). Planta de reciclaje Haas para restos y residuos de madera.

<https://www.retema.es/actualidad/planta-reciclaje-haas-restos-residuos-madera>

Asprilla, M. (2023) Problemáticas de Aserraderos en Zonas Urbanas. Boletín de Innovación, Logística y Operaciones.

<https://revistascientificas.cuc.edu.co/bilo/article/view/5492>

Ministerio de ambiente. Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias->

[minambiente/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros](#)

Peñalba D. Pérez I. (2022). Residuos de madera generados en talleres de carpintería del municipio de Camoapa. La Calera. <https://doi.org/10.5377/calera.v22i38.14271>

Secretaria distrital de la nación. Anexo: Análisis De Las Industrias En Bogotá. [https://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2023/12/08\\_BOLETIN\\_FORESTAL\\_SEPTIEMBRE\\_2023.pdf](https://fedemaderas.org.co/wp-content/uploads/2023/12/08_BOLETIN_FORESTAL_SEPTIEMBRE_2023.pdf)

cámara de comercio de Bogotá (2007). Perfil económico y empresarial localidad de Engativá. [https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2883/6227\\_perfil\\_economico\\_engativa.pdf](https://bibliotecadigital.ccb.org.co/bitstream/handle/11520/2883/6227_perfil_economico_engativa.pdf)

Ardenequipment. Pulpos. [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/160908/PULPOS.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/160908/PULPOS.pdf)

Steiner, Magnetic + Sensor Sorting Solutios. Grupo de separación NIR con tecnología de cámara de imágenes hiperespectrales. <https://steinertglobal.com/es/sistemas-de-clasificacion/separacion-mediante-sensores/sistemas-de-separacion-nir/unisort-pr/>

Steiner, Magnetic + Sensor Sorting Solutios . Separar metales no férricos y hierro (Fe) en un sólo paso y de forma móvil. <https://steinertglobal.com/es/sistemas-de-clasificacion/separacion-magnetica/separadores-por-c-de-foucault/steinert-eddy-c-move/>

Pellencst. (2022). Clasificación de residuos de madera. <https://www.pellencst.com/es/wood-application/>

Directindustry. Destrozador primario Dual-Shear® M160 series. <https://www.directindustry.es/prod/ssi-shredding-systems-inc/product-64428-470136.html>

Maquinaria Iglesias. Virutadoras De Madera Enerpat.

<https://maquinariaiglesias.com/wp-content/uploads/2019/03/VIRUTADORAS-DE-MADERA-ENERPAT.pdf>

Romano, S. (2022). Economía Circular, desafíos y oportunidades para las organizaciones. Ciencias Empresariales, Universidad Blas Pascal.

<https://revistas.ubp.edu.ar/index.php/revista-ciencias-empresariales/article/view/2468-9785%282022%29009/430>

Caisa, E. Padilla, M. Ríos, G. (2019). El reciclaje de madera una herramienta para emprender y cuidar el planeta. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7475480.pdf>

Parlamento Europeo. El trabajo de la UE para la gestión sostenible de residuos.

[https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/4/story/20180328STO00751/20180328STO00751\\_es.pdf](https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/4/story/20180328STO00751/20180328STO00751_es.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo. (2021). Informe de Gestión.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/Informe-de-Gestion-Minambiente-2021-VF-PUBLIC.pdf>

Secretaría Jurídica Distrital. (2023). Documento de Relatoria 000 de 2023 Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=9035>

Ministerio de ambiente. Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS). <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-pgirs.pdf>

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo. Plan de Gestión para el Manejo Integral de Residuos. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Lineamientos-Int/Plan-de-Gestion-para-el-Manejo-Integral-de-Residuos.pdf>

Transtel s.a. Camión RSU Recolector Compactador Carga Superior Con Grúa.

<https://transtelsa.com/vehiculo/recolector-compactador-carga-superior-con-grua-bilateral-tipo-easy/#ficha>

Muñoz, S. (2023). ¿Qué es la Cinta Transportadora de Acero Inoxidable?. Inoxidables Victoria. <https://inoxidablesvictoria.com/blog/cinta-transportadora-de-acero-inoxidable/>

Maquitor. Prensas automáticas de virutas de madera para compactar y envasar, virutadoras. <https://maquitor.com/es/blog/299-prensas-automaticas-de-virutas-de-madera-para-compactar-y-ensasar-virutadoras.html>

## **ANEXOS**

- **Anexo 1** [ANEXO 1](#)

En esta se encuentran las Industrias forestales con direcciones, coordenadas además de la organización por zonas sectorizadas por nodos y tiempos de traslado. *(Documento adjunto)*

- **Anexo 2** [ANEXO 2 Plantilla financiera](#)

En esta se encuentra la plantilla financiera, con los respectivos cálculos y proyecciones realizadas en base a los costos, maquinaria y resultados obtenidos en la simulación realizada en Flexsim . *(Documento adjunto)*

- **Anexo 3** [ANEXO3](#)

En este se puede detallar el diagrama de flujo de proceso de producción aplicado a la simulación en FlexSim . *(Adjunto Inamgen)*

- **Anexo 4**

Simulación realizada en FlexSim . *(Programa adjunto)*