

**Propuesta de un sistema integral para la producción de caucho
granulado a partir del aprovechamiento de neumáticos usados en la ciudad de
Bogotá D.C.**

Richard Steven Carvajal Gaitán

Facultad de Ingeniería, Universidad de ECCI

20390: Ingeniería Industrial

Ms Rafael Borda

12 de julio de 2023

**Propuesta de un sistema integral para la producción de caucho
granulado a partir del aprovechamiento de neumáticos usados en la ciudad de
Bogotá D.C.**

Autor

Richard Steven Carvajal Gaitán, cod. 75755

Presentado para optar al título de: Ingeniero Industrial

Director

Ms Rafael Borda

Universidad ECCI

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Industrial

Bogotá D.C.

12 de julio de 2023

“Dedicada a mi abuelita y Laura”

Agradecimientos

Agradezco a Dios, ha sido quien me ha dado la oportunidad de estar en el punto profesional en el que me encuentro, de igual forma un agradecimiento especial a la universidad ECCI y a su cuerpo de docentes, gracias a ellos pude desarrollar este documento; sin el conocimiento y enseñanza de cada uno de los profesores que he tenido no hubiera sido capaz de desarrollar este trabajo de grado, especial agradecimiento al profe Rafael Borda por su paciencia y el gran apoyo que me ha brindado todos estos meses por permitirme aprender de un gran maestro y profesional, por permitirme ser parte de un gran proyecto del cual es el líder, sin duda alguna uno de los profesores de los que más he podido aprender, tanto profesional como personalmente.

Agradecer y dedicar a mis padres por aguantarme e inculcarme valores que hoy se ven reflejados en este documento, porque a pesar de los momentos difíciles siempre han estado ahí, sin importar cuál sea la circunstancia o momento, dedicar esto a mi abuelita que a pesar de que ya no este conmigo siempre estará en mi mente y corazón sabiendo que gracias a ella soy lo que soy y que espero muy en el fondo que en el lugar donde se encuentre pueda estar orgullosa de mí.

Quiero agradecer por último a las personas, amigos y compañeros que han hecho parte de mi proceso, como profesional y persona, Néstor, José Luis, Mauricio, John, Stephany, Sebastián y en especial a Laura por el apoyo incondicional que me ha brindado estos últimos meses y que sin duda alguna se ha convertido en una persona muy importante y especial para mi.

Tabla de Contenido

Agradecimientos

4

Tabla de Contenido

5

Lista de Figuras

9

Lista de Tablas

12

Introducción

13

Resumen

15

Abstract

16

1. 17

2. 18

2.1. 18

3. 20

4. 21

4.1. 21

4.2. 21

5. 22

5.1.	22	
5.2.	23	
6.	24	
6.1.	24	
6.2.	28	
6.3.	31	
6.3.1.	31	
6.3.2.	33	
6.3.3.	Componente de los Neumáticos.	35
6.3.4.	36	
6.3.5.	38	
6.3.6.	41	
6.3.7.	44	
6.3.8.	49	
7.	50	
7.1.	50	
7.2.	51	

7.2.1.	51	
7.2.2.	51	
7.2.3.	51	
7.3.	51	
7.4.	52	
8.	53	
8.1.	53	
8.2.	57	
8.2.1. Puntos Críticos.		65
8.2.2. Modelo de logística: Etapa 1		68
8.2.3.	69	
8.2.4.	76	
8.2.5.	77	
8.2.6.	78	
8.3.	84	
8.3.1.	94	
8.3.2.	94	

8.3.3.	95	
8.3.4.	Balance de materia.	99
8.3.5.	99	
8.4.	100	
8.4.1.	Modelo de Simulación	105
8.4.1.	106	
8.4.2.	107	
8.4.3.	108	
9.	109	
10.	Referencias	113
11.	Anexos	119

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Comparación resistencia de material vulcanizado.</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2 <i>Componente de los neumáticos</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3 <i>Proceso de fabricación de neumáticos</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4 <i>Etapas de la logística</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5 <i>Actores intervinientes en la logística</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6 <i>Variables de logística</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 7 <i>Logística directa e inversa</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 8 <i>Variaciones en la vida útil de las llantas</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 9 <i>Pregunta 1 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 10 <i>Pregunta 2 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 11 <i>Pregunta 3 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 12 <i>Pregunta 4 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13 <i>Pregunta 5 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14 <i>Pregunta 6 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 15 <i>Pregunta 7 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.

Figura 16 <i>Pregunta 8 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 17 <i>Pregunta 9 encuesta</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 18 <i>Puntos críticos Bogotá</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 19 <i>Mapeo primera etapa</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 20 <i>Variaciones en la vida útil de las llantas</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 21 <i>Información ruta punto 5 a 7</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 22 <i>Muestra de rutas</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 23 <i>Mapeo área de influencia 7 de agosto</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 24 <i>Área de influencia etapa 2 Fontibón</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 25 <i>Descripción etapa 4 modelo de logística</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 26 <i>Formato de recepción de neumáticos</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 27 <i>Formato de requerimiento de materiales</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 28 <i>Red Logística</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 29 <i>Diagrama de flujo implementación de proceso logístico</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 30 <i>Ficha técnica maquina 1</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 31 <i>Ficha técnica maquina 2</i>	¡Error! Marcador no definido.

Figura 32 <i>Ficha técnica maquina 3</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 33 <i>Ficha técnica maquina 4</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 34 <i>Ficha técnica maquina 5</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 35 <i>Ficha técnica maquina 6</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 36 <i>Ficha técnica maquina 7</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 37 <i>Mapa de procesos</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 38 <i>Cursograma analítico</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 39 <i>Diagrama de flujo proceso de reciclaje de llantas línea zerma</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 40 <i>Solución balance de materia</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 41 <i>Balance de materia ajustada</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 42 <i>Método Guerchet</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 43 <i>Plano distribución</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 44 <i>Modelo de Simulación</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 45 <i>Distribución probabilística</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 46 <i>Estadísticas maquinas</i>	¡Error! Marcador no definido.
Figura 47 <i>Estadísticas Operarios</i>	¡Error! Marcador no definido.

Figura 48 *Relación contenido vs tiempo*

¡Error! Marcador no definido.

Figura 49 *Anexo 1*

¡Error! Marcador no definido.

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Composición química de los neumáticos convencionales.</i>	35
Tabla 2 <i>Composición química de los neumáticos de vehículos pesados</i>	36
Tabla 3 <i>Propiedades físicas de los neumáticos</i>	36
Tabla 4 <i>Descripción de los componentes de los neumáticos</i>	37
Tabla 5 <i>Umbrales iniciales</i>	44
Tabla 6 <i>Estimaciones vida útil de los neumáticos</i>	56
Tabla 7 <i>Tabla resumen disposiciones finales</i>	57
Tabla 8 <i>Descripción, ubicación de los puntos</i>	68
Tabla 9 <i>Descripción etapa 3 modelos de logística</i>	78
Tabla 10 <i>Parámetros iniciales balance de materia</i>	100

Introducción

La presente investigación aborda la importancia del aprovechamiento y uso del reciclaje, junto a la implementación de un sistema integrado para la reutilización de las llantas o neumáticos post consumo en la ciudad de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá , 2010). Asimismo, propone un sistema integrado de producción que va desde el proceso logístico hasta la propuesta de un modelo de producción.

El modelo de reciclaje actual en Colombia, específicamente en la ciudad de Bogotá, se caracteriza por la presencia de dos factores principales. En primer lugar, existe la creencia generalizada de que el reciclaje está asociado exclusivamente con actividades delictivas. En segundo punto, se observa una falta de organización en los procesos de reciclaje, lo que impide que sea considerado como una oportunidad de negocio (Moreno, 2022).

Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas. Una de ellas es la falta de cultura y los diferentes estigmas de cada una de las personas, pues la carencia de conciencia, no logra obtener buenos hábitos de reciclaje y en el caso de las llantas simplemente se cambian y se botan, de igual forma, el criterio que tienen los ciudadanos en cuestión a todo lo que rodea el reciclaje (Moreno, 2022).

Otra de las causas de esta problemática es la falta en la utilización de metodologías de administración e ingeniería, pues muchas de las personas que deciden incursionar en el reciclaje

lo hacen de forma empírica y no tienen en cuenta los pequeños detalles, como la organización, logística, forma de producción y las nuevas tendencias tecnológicas.

La investigación de esta problemática se realizó con el interés de aprovechar más las técnicas del reciclaje dentro de la ciudad de Bogotá, implementando algo que para este proyecto se ha denominado la sofisticación del reciclaje, en el área productiva y de logística, esto con el fin de cambiar la forma en la que se está desarrollando cada una de las fases productivas del reciclaje de llantas dentro de la ciudad.

También se profundiza en la investigación para demostrar como las diferentes técnicas de ingeniería industrial, como lo son la investigación de operaciones, logística, simulación, control y planeación de la producción, ayudan a mejorar y optimizar los procesos, demostrando que con simples cambios se pueden tener excelentes resultados.

Para obtener la información se indagó en modelos internacionales de reciclaje (Firestone , 2022), modelos de logística, implementando para este caso un modelo estándar de logística de reciclaje, se acudió a fuentes de información primaria y secundaria, para entender cómo se está desarrollando actualmente el reciclaje en las principales compra ventas de llantas en la ciudad de Bogotá.

En el desarrollo de este proyecto se planteó una caracterización final de las llantas post consumo, para luego desarrollar un modelo de logística integral y colaborativa en toda la ciudad de Bogotá que involucra a todos los grupos de interés con respecto al reciclaje de llantas, que puede ser utilizado en otras actividades de producción y comercio, de esta forma, se propone un proceso producción teórico con ayuda de la marca Zerma (productora de máquinas de reciclaje),

llegando a una última instancia que es la simulación de dicho proceso para observar de forma más gráfica cuál sería la representación de este proceso productivo.

Resumen

En Colombia el reciclaje es visto como una fuente de delincuencia, algo que está mal desarrollado, casi 95 mil llantas al año llegan a las calles y rellenos sanitarios solo en Colombia por culpa de las malas prácticas y la falta de aplicación de investigación y desarrollo de nuevas y más eficientes formas de producción y tratamiento post consumo (Ministerio de Ambiente , 2020).

Con esta investigación se busca darle un orden al sistema de reciclaje en la ciudad de Bogotá, abordando un modelo integral y colaborativo de reciclaje donde las partes interesadas se apropien de sus responsabilidades y su vez se disminuya en gran medida la cantidad de contaminación alrededor de la ciudad a través de las buenas prácticas de reciclaje.

Con el uso de técnicas de ingeniería se planteó un modelo de logística integral y colaborativa donde se cubre con toda la zona geográfica de la ciudad de Bogotá, creando con esta una red logística que luego de ser implementada podrá ser optimizada, de igual forma se muestra como gracias a la simulación se pudo Visualizar y entender mejor el proceso, además de poder probar posibles escenarios.

Abstract

Recycling in Colombia is seen a source of crime, the people think this is poorly executed, and they don't care for this. Only in Colombia around 95 thousand of tires for year arrive in the trash, this because of bad practice and lack of investigation and development of news and most efficiency form of production and treatment post consumption.

What this research in looking for is organizing a recycling system on Bogotá, this has an integral and collaborative model of recycling. The valor groups of this project will take over of their responsibilities, shearing pollution reduction around on Bogotá, with a better system of production.

This project used tools as logistic model, this is easy to implement and efficient, this model is separated for stage each for them development through of time. Then it shows a productive process of recycling with the used simulation system.

With the used engineer tools in this project to create an integral and collaborative logistic model, this model it covers all area of delimitation and create logistic network too, in the same way create a simulation system of the productive process, getting results as increase use of installed capacity and decrease time of production.

1. Título

Propuesta de un sistema integral para la producción de material triturado a partir del aprovechamiento de neumáticos usados en la ciudad de Bogotá D.C.

2. Problema de Investigación.

2.1. Descripción del Problema

Los altos niveles de contaminación ambiental que existe en Colombia y según la Organización Mundial de la Salud (OMS), Colombia es el segundo país a nivel latinoamericano que más genera contaminación en el aire (OMS, 2018); un problema que aqueja en gran medida a la humanidad, la sociedad en general no ha dimensionado las consecuencias que en la contaminación de los principales elementos y recursos naturales del país, a pesar de que es uno de los países más ricos en recursos naturales (Rustiquez, 2012), en consecuencia si no se tiene una buena administración y cuidado de los mismos poco a poco se irán acabando.

Debido a las malas prácticas a lo largo de los años, junto a modelos económicos lineales donde todo lo que se produce se tiene que botar, ha hecho que los niveles de contaminación aumenten de una forma casi exponencial (Ministerio de Ambiente , 2020), de esta forma llantas o neumáticos que actualmente en su mayoría son producidas de forma sintética y con caucho se ven involucrados en estas malas prácticas, junto a ello, estos neumáticos cuentan con una vida útil muy corta, en promedio un automóvil o vehículo terrestre requieren aproximadamente de 3 a 4 cambios (Michelin, 2020).|

Colombia a lo largo de su historia y con la necesidad de movilizarse de un lado a otro, aporta a la contaminación medioambiental con neumáticos. Según cifras del ministerio de ambiente, cada año, 950000 llantas llegan a las calles o rellenos sanitarios (Ministerio de Ambiente, 2020) generando un impacto ambiental, a pesar de que según investigaciones se pueden utilizar luego de que cumplen con su principal funcionamiento (Calvo & Amador, 2016), en Colombia el manejo es ineficiente, generando que estos residuos que contaminen de forma ambiental y visual; debido a que a mirada de la sociedad el ver llantas tiradas en cada esquina se ha vuelto cada vez más rutinario, a su vez existe muy poco apoyo por parte de los grupos de interés, a pesar de que existen estrategias como rueda verde impulsado por organizaciones gubernamentales que no son muy eficientes, pero aportan a la disminución y tratamiento de estas llantas (Rueda verde, 2023).

Uno de los factores que más aportan al desecho de llantas es que en muy pocas servitecas, compra venta de llantas no tienen conocimiento del manejo correcto de las llantas, en algunas ocasiones las que no se encuentran lisas se utilizan como llantas de repuesto, luego de esto en muchas ocasiones la única solución viable es conservar las llantas, trayendo problemáticas como ser un mecanismo de reproducción y propagación de dengue (Corporación Autónoma Regional (CAR), 2018).

En Colombia existe un gran déficit al momento de usar técnicas y estrategias tecnológicas que ayuden a sofisticar y mejorar los procesos de reciclaje, como lo puede ser la simulación, siendo una técnica poderosa para poder observar las diferentes alternativas dentro de los procesos, es por esta razón que este proyecto busca sofisticar el proceso de reciclaje de llantas en la ciudad de Bogotá (Mora, Martínez, & Velasco, 2018).

Las llantas en Colombia se están viendo como desecho más no como una oportunidad de implementar la economía circular, a lo largo de esta investigación se muestra cómo a través del uso de las técnicas de logística y producción se puede implementar la economía circular de llantas en la ciudad de Bogotá, aportando de esta manera en la disminución de desechos de llantas y la generación de nuevas oportunidades de inversión (Badenes, 2017).

3. Formulación del Problema

La pregunta de este proyecto de investigación se plantea entonces de la siguiente forma:

¿De qué forma mejorar las prácticas de los procesos de aprovechamiento de las llantas en desuso mediante la consolidación de un proceso integral usando técnicas y metodologías de ingeniería?

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Proponer un sistema integral para la producción de material triturado a partir de los residuos de llantas usadas en la ciudad de Bogotá D.C.

4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la disposición final, usos y aplicaciones de los residuos de llantas post consumo.
- Establecer un proceso logístico para la recolección y acopio de llantas utilizadas en los principales puntos de desecho en la ciudad de Bogotá D.C.
- Proponer un proceso productivo para la obtención de material triturado o granulado a partir de las llantas en desuso.
- Desarrollar un modelo de simulación 3D, para representar características funcionales del proceso productivo previamente propuesto.

5. Justificación y Delimitación.

5.1. Justificación

El cambio climático y la contaminación están cada vez en una tendencia lineal de crecimiento, haciendo que el reciclaje bien implementado pueda ser la única salvación (Banco Mundial, 2022), junto a los modelos de economía circular, siendo este un gran aporte, ya sea para solucionar los modelos económicos donde se produce y se desperdicia o bien sea para generar nuevos e innovadores modelos de producción y negocio.

Los modelos de industria 4.0 junto con sus pilares han hecho que la humanidad en su desarrollo de un paso más hacia el futuro de las industrias, apoyado en uno de sus pilares, más precisamente la simulación de procesos surge este proyecto, es una técnica potencial para poder realizar el reciclaje de una mejor forma, para que de esta manera dicho proceso se adapte a este cambio que está teniendo la industria, puesto que gracias a la simulación y a su confiable visualización de la realidad los procesos se pueden sofisticar y optimizar de una mejor forma, con estas nuevas tecnologías se busca disminuir la incertidumbre a la hora de realizar procesos (Zarini, 2011).

El reciclaje es técnica poderosa y más si este se hace bajo metodologías correctas, lo que se busca con este proyecto es romper los estigmas alrededor de este proceso, como que este proceso solo lo hacen personas poco educadas o que este proceso solo trae más delincuencia, este proyecto plantea las tres R como la única salvación transitoria del mundo (Campana, Galeas, & Guerrero, 2015).

Se plantea de igual forma algo que se ha denominado la “sofisticación del reciclaje”, que se refiere a un modelo de reciclaje que podrá ser replicado en otras fuentes de reutilización y aprovechamiento, utilizando técnicas de ingeniería como: simulación, investigación de operaciones, logística y modelos matemáticos para darle una solución que pueda ser utilizada no solo en proyectos referentes a neumáticos, sino que también todo lo que refiera a reciclaje.

5.2. Delimitaciones

Será una delimitación de tipo geográfica, la delimitación estará dada por el espacio geográfico que ocupa la ciudad de Bogotá, pues el enfoque de esta investigación busca disminuir los niveles de desperdicio en la ciudad capital.

El sistema integral de producción abarca todo el proceso hasta obtener caucho granulado, incluyendo la logística y producción desde el momento en que las llantas cumplen su función principal.

6. Marcos de Referencia

6.1. Estado del Arte

Frente al reciclaje de neumáticos se han generado diversidad de ideas de negocio, a su vez se habla de nuevos materiales y aditivos que se pueden obtener gracias al reciclaje e investigación, el tema del reciclaje de neumáticos o llantas es un tema que ha sido investigado, pero que ha tenido poca difusión, todas estas basándose en un mismo modelo.

En la actualidad la mayoría de los proyectos han tenido un enfoque que va desde los planes de negocio hasta la responsabilidad social, se han generado planes de negocio de la siguiente forma.

Un modelo de negocio que puede ser implementado en la ciudad de Bogotá, su principal propuesta es la comercialización de “Caucho pulverizado” que será comercializado por kilogramos, la planta que ellos proponen estaría ubicada en zonas aledañas en de la ciudad, con el fin de ser vendido a las principales productoras de asfalto combinado en el país, mostrando una posible inversión inicial, así como la producción estimada por toneladas de residuos (Calvo & Amador, 2016)

(Hermida, 2016) En este proyecto de grado, el autor hace una propuesta a la empresa Continental Tire Andina, que es una de las principales fabricantes de neumáticos en Ecuador, proponiendo un modelo de economía circular en donde la empresa utilice su puesto en el país para que de esta manera pueda incursionar en el negocio del reciclaje, puesto que en el país no hay un modelo de reciclaje emplatado que pueda solucionar la problemática a un nivel como el que esta empresa lo puede llegar a hacer.

Ecuador ha sido uno de los principales promotores de reciclaje a nivel latinoamericano, plantean un modelo de negocio que parte de un acuerdo ministerial planteado en Ecuador para la gestión de neumáticos usados, en este proyecto definen los principales métodos en la que este material puede ser procesado, de esta manera buscan aportar y contribuir con la oferta de la industria del calzado en Ecuador, más precisamente en la ciudad de Ambato (Azogue, Yuca illa, & López, 2017).

Otra de las aplicaciones y en las que más se ha visto utilizo y aceptación en la utilización de neumáticos o llantas recicladas es en la industria de la construcción, En el documento (Díaz, 2008) especifica las principales aplicaciones que se le puede dar al caucho reciclado en la construcción, iniciando evidentemente con la producción de mezclas asfálticas, en la generación de energía que es ampliamente utilizado en la industria del cemento, otra de las aplicaciones y usos que plantea es utilizar las membranas para construir barreras de contención, impermeabilizantes, productos que son flexibles y fácil en su construcción.

En el informe (Campana, Galeas, & Guerrero, 2015) plantean una mezcla de asfalto modificado gracias al reciclaje de llantas, obteniendo de esta manera tres mezclas diferentes con propiedades como aumento de durabilidad, reducción de costos; estas características se lograron

gracias a dos métodos diferentes una mezcla en seco aumentando la temperatura del caucho y el segundo método es un método húmedo, consiste en aumentar las temperaturas, además de alcanzar temperaturas de casi 210 °C se agitó el producto a altas velocidades casi 200 r.p.m.

Dejando de lado un poco los neumáticos de vehículos como automóviles o vehículos pesados, (Herrera, 2019) plantea el reciclaje de llantas en mezclas de cemento con los neumáticos de las bicicletas, ya que en los últimos años aumento la tendencia del uso de estos vehículos en el país, teniendo un resultado no tan favorable, puesto que reduce en gran medida las propiedades del asfalto, bien sea a comprensión como a cargas de flexión, puesto que las propiedades de estos neumáticos son bajas a comparación de los demás neumáticos, de esta manera no recomienda el uso de este tipo de llantas.

Se ha investigado en ampliar un poco la gama de productos que se pueden obtener a partir del caucho reciclado, el proceso de pirolisis puede ser uno de los mejores procesos para el reciclaje de llantas, de esta forma y gracias a este, se puede obtener un sólido carbonoso, un aceite o un gas, de esta forma se puede utilizar los neumáticos para solventar un poco la demanda energética de las industrias y hogares de Buenos Aires (Zarina, 2011).

Un producto que puede beneficiar mucho, sobre todo en la construcción, por sus bajos costos son las láminas impermeabilizantes; se muestra como a partir del reciclaje se pueden obtener dichas láminas, de esta manera el comportamiento que tuvieron fue muy alentador, puesto que este producto fue expuesto a diferentes pisos térmicos, tenido resultados, donde las láminas se adaptaron y no solo eso fueron eficientes a la hora de adaptarse a las necesidades requeridas por las diferentes temperaturas en un país como España que tiene las cuatro estaciones del año (Alonso, 2010).

Un avance significativo que puede marcar un punto de inflexión en el reciclaje es la obtención de Policloruro de Vinilo o PVC reciclado, el cual contribuye al fortalecimiento de las propiedades físicas y químicas de este material. Esto no solo beneficia a la industria del PVC, sino que también demuestra un compromiso con el cuidado del medio ambiente y la responsabilidad social al incorporar prácticas más sostenibles. (Manuel, 2009).

Además de las artesanías que pueden surgir a partir del uso de llantas o neumáticos reciclados, los pisos decorativos representan una solución que tiene un impacto aún mayor, demostrando una gran viabilidad y versatilidad. Estos pisos van más allá de lo tradicional al crear ambientes agradables, económicos y acogedores para los hogares colombianos, ofreciendo una opción sostenible y atractiva para la decoración del hogar. (Gómez & Montoya, 2011).

Para desarrollar estos productos de manera efectiva, es esencial contar con maquinaria adecuada para el procesamiento. Por este motivo, se ha llevado a cabo una investigación exhaustiva en la construcción de nuevas máquinas que se adapten a las necesidades del reciclaje. Como resultado de este esfuerzo, se ha logrado generar un prototipo de máquina capaz de procesar llantas de rin 13, que son las más comunes en el mercado. Esta innovadora máquina corta los neumáticos en tiras con las condiciones requeridas para su posterior disposición de forma adecuada.

Además, este avance señala la viabilidad de establecer una planta de reciclaje en la ciudad de Bogotá, junto con diferentes puntos de acopio estratégicamente ubicados en la ciudad. Esta iniciativa no solo mejoraría la gestión de residuos, sino que también contribuiría al cuidado del medio ambiente y a la promoción de prácticas sostenibles en la comunidad. (Alexis & Javier, 2021).

Como se mencionó anteriormente, Ecuador se destaca como el principal promotor del reciclaje de neumáticos en Latinoamérica. Su compromiso no solo abarca proyectos independientes, sino que también se refleja en iniciativas gubernamentales. Un ejemplo de esto es cómo en este país se ha implementado el reciclaje para apoyar la construcción de estructuras destinadas a las Fuerzas Militares. Esta práctica no solo contribuye al cuidado del medio ambiente, si no que también busca que estas mismas fuerzas militares apoyen y regulen activamente esta importante iniciativa sostenible (Tapia, 2019).

Para finalizar, existe un proyecto de investigación, donde gracias a la simulación se crea un prototipo de colector térmico solar, para que de esta forma funcione como un tipo de panel solar, siendo este uno de los proyectos más innovadores y que más pueden aportar a la investigación tanto de simulación como de reciclaje y aprovechamiento de neumáticos (Mora, Martínez, & Velasco, 2018).

6.2. Marco Legal

A continuación, se mostrará las diferentes leyes y artículos que regulan el reciclaje en el territorio colombiano, se hace con el fin de representar cuáles son las medidas legales que está tomando el país para aportar a los 17 objetivos de desarrollo sostenible (Organización de Naciones Unidas, 2015)

Ley 23 de 1973: “Es objeto de la presente Ley, prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”. En esta ley lo que se busca es que los departamentos gubernamentales regulen los índices de

contaminación dentro de sus territorios, a su vez promueva prácticas en pro del mejoramiento y cuidado del medio ambiente (Senado de la república de Colombia, 1974, 17 de enero).

Ley 99 de 1993; Se crea el Ministerio de Ambiente, hito importante en la organización, reglamentación y cuidado del medio ambiente, puesto que esta es la entidad encargada de la gestión de los recursos naturales, a su vez esta ahora se tiene la función de promover el desarrollo sostenible en cada una de las industrias, con el fin de preservar los recursos naturales del país (Senado de la República, 1993, 22 de diciembre).

Ley 491 de 1999: “El objeto de la presente ley es crear los seguros ecológicos como un mecanismo que permita cubrir los perjuicios económicos cuantificables a personas determinadas como parte o como consecuencia de daños al ambiente y a los recursos naturales y la reforma al Código Penal en lo relativo a los delitos ambientales”. Se genera con el fin de solventar económicamente los daños que en ocasiones pueden ser irreparables para el medio ambiente, con el fin de invertir el dinero recolectado en la corrección y arreglo de los daños causados (Congreso de Colombia, 1999, 15 de enero).

La ley 511 de 1999 establece y reconoce el día de la del reciclaje y el día del reciclador, de igual forma establece incentivos para el reciclaje, obligando a las empresas y alcaldías municipales a involucrarse en procesos de reciclaje, establece las principales bases para generar contextos normativos con el reciclaje, como por ejemplo el apoyo que dará el ICBF a las madres, niños y jóvenes involucrados en este proceso (Congreso de Colombia, 1999, 5 de agosto).

Decreto ley 2811 de 1974, esta ley regulará las acciones populares para la protección del medio ambiente, de igual forma busca controlar productos peligrosos y nocivos para el medio ambiente y todos los posibles materiales que puedan ser un riesgo para el medio ambiente, también

reglamenta todo el proceso de recolección y disposición final de los residuos, verificando si pueden o no ser aprovechados para la investigación científica, por último busca promover la reutilización de desperdicios (Presidencia de Colombia, 1974, 18 de diciembre).

En el decreto 1505 de 2003, en este, se reglamenta que las autoridades distritales y municipales deben garantizar la participación de los recicladores en los planes de gestión integral de residuos sólidos, de igual forma se prohíbe que los recicladores y actividades de reciclaje se realicen en rellenos sanitarios (Ministerio de Ambiente, 2003, 06 de junio).

Decreto 400 de 2004: “El presente Decreto tiene por objeto la reglamentación tendiente al eficiente manejo de los residuos sólidos producidos, tanto por las entidades distritales, como por los servidores pertenecientes a ellas, buscando como objetivo central su adecuado aprovechamiento”. Busca la correcta separación y disposición de los residuos de igual forma, apoya y promueve el reciclaje en la ciudad de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004, 15 de diciembre), sumado a este y complementándolo el decreto 312 de 2004, la alcaldía de Bogotá crea un plan maestro para el manejo de los residuos sólidos, donde los residuos ordinarios serán utilizados para la prevención, reciclaje y aprovechamiento (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2004, 16 de diciembre).

Resolución 1326 de 2017: “La presente resolución tiene por objeto establecer, a cargo de los productores de llantas que se comercializan en el país, la obligación de formular, presentar e implementar y mantener actualizados los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, con el fin de prevenir y controlar la degradación del ambiente”. Donde también en dicha resolución busca que cualquier persona natural o jurídica pueda emplear las llantas

almacenadas para su aprovechamiento y reciclaje (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

Para finalizar, se tiene el decreto 442 de 2015 y la resolución 1457 de 2010 expedidas por la Alcaldía Mayor de Bogotá, donde se crea el programa de aprovechamiento y valoración de llantas, así como también se establece un sistema de recolección selectiva a la cual entidades públicas y/o privadas puedan adoptar, para que se haga una gestión ambiental y responsable de llantas utilizadas en la ciudad de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2010)

6.3. Marco Teórico

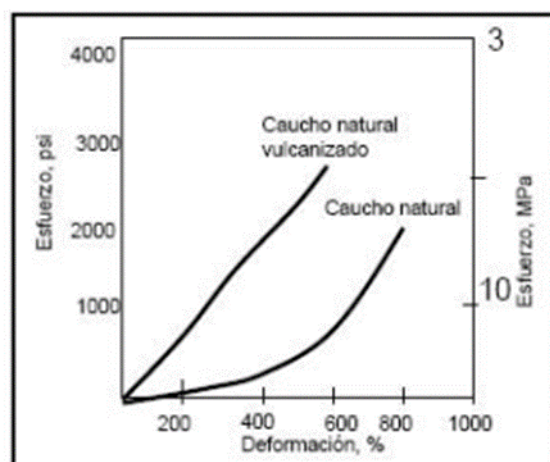
6.3.1. Neumático

Con la invención de la rueda, aproximadamente hacia el 4500 A.C. en Mesopotamia, la humanidad dio un gran salto hacia la evolución, puesto que gracias a la rueda muchos inventos surgieron por su funcionamiento, tales como, la polea, engranajes, mecanismos hidráulicos etc. Con la llegada de las revoluciones industriales y la invención de los vehículos motorizados se hizo necesario la creación de una rueda recubierta y que fuera resistente, es allí donde se crean y se inventan los neumáticos que pueden ser fabricadas a partir de caucho natural o caucho sintético.

Según la RAE, un neumático o llanta es: “Pieza de caucho con cámara de aire o sin ella, que se monta sobre la llanta de una rueda” (Real Academia Española, 2022), los neumáticos surgen por accidente y necesidad, pues Charles Goodyear descubrió el proceso de vulcanizado en 1880, que es básicamente un proceso en el que se añade azufre por medio de una vulcanizadora para aumentar la resistencia y solidez al caucho (Yenes, Vásquez, & Correa, 2017).

Con la llegada del modelo T y las nuevas formas de producción en línea y masificadas se hizo necesario la ampliación y producción de llantas, es por esto y gracias al vulcanizado, la industria de los neumáticos aumento y se volvió indispensable en su fabricación, debido a esto surge la necesidad de esa producción en masa, debido a esta gran producción se vio afectado la producción del caucho natural que se obtiene a partir de la savia del árbol de caucho, debido a esto surge el caucho con material sintético que disminuye costos de fabricación y a su vez adapta de una mejor forma el proceso de vulcanización, de igual forma con una mejor dureza, volviendo el caucho con propiedades similares o iguales a un elastómero como se observa en la figura 1.

Figura 1 Comparación resistencia de material vulcanizado.



Fuente: (Casto, 2008).

Como se observa en la figura 2 otras de las características que difieren a estos materiales vulcanizados es la segmentación de las cadenas poliméricas, pues como se dijo anteriormente, el

caucho vulcanizado se vuelve un elastómero donde se aumenta la resistencia del caucho, de esta forma la cadena polimérica cambia pasando de un isómero a un alqueno.

Fuente: (Alexis & Javier, 2021).

Figura 2

Comparación cadena polimérica.



6.3.2. Propiedades físicas y químicas de los neumáticos

Sabiendo que las propiedades físicas y químicas son aquellas características que ayudan a medir y describir la estructura de los neumáticos, en este apartado se especificara características como volumen, masa, composición, entre otros.

6.3.2.1. Neumáticos de Vehículos Convencionales. La tabla 1 muestra la composición química.

Tabla 1

Composición química de los neumáticos convencionales.

Material	% Composició n
Caucho y Elastómero	48%
Negro de carbono	22%
Metales	15%

Tela	5%
No	1%
Azufre (S)	1%
Aditivos para resistencia	8%

Fuente: (Cámara de Comercio, 2009).

6.3.2.2. Neumáticos de Vehículos Pesados. La tabla 2 muestra la composición química de vehículos más grandes.

Tabla 2

Composición química de los neumáticos de vehículos pesados.

Material	% Composición
Caucho y Elastómero	43%
Negro de carbono	21%
Metales	27%
No	2%
S	1%
Aditivos para resistencia	6%

Fuente: (Helman, Luis, Shirley, Lucy, & Yessika, 2013).

6.3.2.3. Propiedades Físicas. En la Tabla 3 se hace la relación de las propiedades físicas de las llantas.

Tabla 3

Propiedades físicas de los neumáticos.

Elastómero	Resistencia a la tracción (Pa)	% Elongación	Densidad (g/cm ³)
Caucho natural vulcanizado	17236.9-24131.7	750-850	0.93
Caucho estireno butadieno (SBR)	1378.95-24131.7	400-600	0.94
Neopreno	20684.3-27579	800-900	1.25
Silicona	4136.85-8963.1	100-500	1.1-1.6

Fuente: (Cámara de Comercio, 2009).

6.3.3. Componente de los Neumáticos.

En la figura 3 y la tabla 4 se describe la relación entre los componentes de los neumáticos en cuanto a su forma junto al principal propósito y el funcionamiento de los mismos.

Figura 3

Componente de los neumáticos.



Fuente: (Continental, 2022).

Tabla 4

Descripción de los componentes de los neumáticos.

Componente	Función
Perfil	Ayuda a una buena conducción en carretera y expulsa agua, parte que más está en contacto con la carretera
Lonas de carcasa	Está debajo del perfil, permite circular a gran velocidad, son cuerdas que hacen espirales alrededor de la circunferencia de los neumáticos
Lonas de cima	Cables de acero resistente, su función es proporcionar la rigidez necesaria al neumático
Pliegue de tejido	Se encuentra dentro del neumático, es una capa de tejido de poliéster, controla la presión interna del neumático
Aislamiento interior	Caucho butílico que sella la cámara interior y actúa como cámara para controlar la presión del neumático
Flanco	Pared exterior del neumático, protege la cubierta de daños externos, fabricado con caucho natural
Aro de talón	Incrementa y facilita la estabilidad a maniobras de giro, fabricado con nailon
Talón	Cumple la función de aro de talón, pero en la zona baja del neumático
Pestaña	Es la parte central del talón, fabricada en acero, garantiza el buen acoplamiento entre llanta y neumático

Fuente: (Continental, 2022).

6.3.4. Proceso de fabricación de neumáticos.

El proceso de fabricación de neumáticos es un proceso que se ha venido actualizando, siendo cada vez más sofisticado y avanzado, teniendo líneas de producción en las que casi el ser

Figura 4

Proceso de fabricación de neumáticos

humano no interviene, empresas como, Continental, Bridgestone, Michelin y Goodyear, han aprovechado al máximo la automatización de procesos, en donde sus plantas producen millones de neumáticos alrededor del mundo, en la figura 4 se puede distinguir el proceso de producción de las llantas, este proceso y como la gran mayoría están separados por fases de la siguiente manera:

Fuente: (Michelin, 2022).



6.3.4.1. Fase 1: Obtención, Selección y Clasificación de la Materia Prima. En la primera fase los proveedores hacen llegar las principales materias primas que serán procesadas durante todo el proceso, materiales como acero, sustancias químicas como caucho sintético y aditivos para aumentar la resistencia de los materiales, caucho natural extraído de los árboles de caucho y tejidos llegan a las diferentes plantas.

6.3.4.2. Fase 2: Fabricación de los Componentes. En esta segunda parte se fabrican los componentes que previamente se explicaron, en esta parte del proceso los cables de acero se introducen en una calandra donde junto a varias capas de caucho se incrustan entre sí, teniendo como resultado una extensa lámina de caucho que posteriormente será cortada en las determinadas longitudes dependiendo el tamaño que se haya requerido, luego del corte estas láminas son enrolladas para pasar a la siguiente fase.

6.3.4.3. Fase 3: Fabricación del Neumático. Las láminas recortadas con las especificaciones requeridas llegan para ser juntadas, en esta parte del proceso se le da forma al neumático, también se realiza la cubierta y el montaje del perfil, posteriormente, se pulveriza la recubierta añadiendo aditivos para dejar el neumático preparado para la vulcanización.

6.3.4.4. Fase 4: Vulcanización. Los neumáticos llegan a la prensa de curado, en esta parte del proceso los neumáticos adoptan la forma final con esos característicos pliegues y cortes que cada uno tiene, en este proceso también se añaden los aditivos que agregan resistencia y dureza al material, en este proceso térmico el caucho flexible se convierte en un elastómero.

6.3.4.5. Fase 5: Control de calidad y distribución. Los neumáticos son sometidos a una inspección visual, de igual forma pasan por un proceso donde se utilizan rayos X para poder verificar la uniformidad de los neumáticos, sabiendo que van a contar con los requerimientos necesarios del mercado, estos pasan a ser distribuidos para su final comercialización (Michelin, 2020).

6.3.5. Niveles de desecho y reciclaje de neumáticos

Al lo largo de los años uno de los principales factores que necesitan las sociedades en general es el transporte, debido a que necesitamos de este bien sea para ir de un lugar a otro, comunicación o abastecimiento y excluyendo el transporte de tipo fluvial y férreo, el neumático ha sido una parte indispensable en el transporte, llegando inclusive a ser parte fundamental de transporte que no es contaminante como las bicicletas, según informes de la Unión Europea solo en 2019 en Europa se llegaron a producir cerca de 219 millones de neumáticos solo para automóviles y vehículos ligeros (Unión Europea, 2019).

Es claro que los niveles de producción de llantas y desperdicio son inimaginables, es por ello por lo que en diferentes países han adoptado diversas estrategias para el control de estos desechos, dependiendo a su vez de la cantidad de llantas que producen por año en cada uno de los países que serán referenciados a continuación:

6.3.5.1. China. Siendo uno de los países que más genera contaminación a nivel mundial, a pesar de los altos niveles de sobrepoblación en este país, no se ve reflejado en la cifra, en china hay 83 vehículos por cada mil habitantes, a pesar de esto el transporte público de este país es uno de los más utilizados, debido a esto existe una gran cantidad de vehículos de servicio público, en este país se genera contaminación, pues no existe una buena cultura en el manejo de estos, a pesar de que ellos son potencia en la fabricación de plantas de reciclaje, una de las alternativas que impuso el gobierno chino fue la prohibición de compra y venta de 24 diferentes tipos de residuos y esta solo será controlado por la empresa SPA Neumáticos (Maldonado & Melo, 2020).

6.3.5.2. Estados Unidos. A pesar de que por cada mil habitantes existen 965 vehículos Estados Unidos ha sido mentor en el reciclaje, sobre todo para la utilización de polvo granulado en asfaltos, pero a pesar de esto cerca de 56 millones de llantas aún siguen llegando al botadero o rellenos sanitarios de este país, es por ello que impulsa y apoya el sector del reciclaje, puesto que es uno de los principales temas en el que el gobierno de Joe Bien quien se comprometió a reducir los índices de contaminación en todo el país, en este país es un negocio rentable y como en todo cuando hay dinero de por medio el apoyo aumenta un 100% por esta razón empresas como Retyred han encontrado el éxito en la utilización de los desechos neumáticos para la abrasión de muebles para el hogar (United States Environment Protection Agency, 2015).

6.3.5.3. España. Uno de los países europeos que más ha invertido en el reciclaje de llantas y protección del medio ambiente, se sabe que en este país existen cerca de 471 vehículos por cada 1000 habitantes, casi 1000 millones de neumáticos se desechan al año en este país y a pesar de que se reciclan casi 200 mil toneladas al año aún no es suficiente, es por ello que se creó el decreto real “1619/2005 del 30 de diciembre” donde se busca regular y establecer un proceso jurídico para el reciclaje de neumáticos, donde se establece un plan de acción que cubre todos los aspectos desde la recolección hasta las disposiciones finales mostrando el apoyo a diferentes industrias que quieran invertir y ayudar a este sector.

6.3.5.4. Italia. A pesar de que en el país los niveles de desecho de neumáticos han disminuido, el parlamento italiano ha tenido que generar nuevas estrategias, puesto que se llegan a desechar 2300 toneladas de acero y 5000 toneladas de polvo, es por esto por lo que los procesos de producción en este país tienen que ser mejorados, pues de esta manera será uno de los países que más innova en el país, debido a que está en la investigación de la construcción de vías férreas con estos materiales que sobran de los neumáticos.

6.3.5.5. México. Este país tiene un buen sistema de recolección, pues las personas y centros de cambio ya saben cuáles son las disposiciones de los neumáticos, este país cuenta con una planta en Tultitlan, este material triturado en diferentes tamaños es utilizado como impermeabilizante, bloques de construcción y materiales para pisos.

6.3.5.6. Colombia. Uno de los países que se puede decir más importantes en sur América, debido a esto no es ajeno a la contaminación de hecho es un país que genera altos índices de contaminación solo en Colombia se desechan 61 mil toneladas de neumáticos, nada más en Bogotá se llegan a cifras de 2.5 millones de neumáticos al año, existen diversas estrategias tanto políticas como empresariales, siendo el último gobierno el del señor Iván Duque uno de los que más se ha preocupado, ayudado y disminuido los niveles de contaminación, de igual forma existen diferentes empresas y estrategias como puede ser rueda verde una empresa que se dedica a la recolección y tratamiento de neumáticos en desuso.

A pesar de estas estrategias no es suficiente y como es normal en las industrias dirigidas por los colombianos no se va más allá y son conformistas, teniendo un proceso logístico ineficiente y en el que solo se preocupa por el papel moneda, de igual forma la falta de cultura de los colombianos han hecho que miles y miles de toneladas de desecho lleguen a los rellenos sanitarios y no puedan ser aprovechados a pesar de las diferentes investigaciones donde se muestra la efectividad en la reducción de la contaminación, pues el colombiano se acostumbró a no ir más allá y esperar a que los demás generen las soluciones.

6.3.6. Disposición final de las llantas

En la resolución 1326 del (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017), se establece un sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas usadas, en la tabla 5 se muestra como esta resolución se establece los siguientes umbrales:

Tabla 5*Umbrales iniciales*

Tipo de llanta	Umbral
Bicicletas	200
Motocicletas, motociclos, ciclomotores	200
Automóviles	150
Camiones y microbuses	100
Tractomulas, buses troncales del sistema de transporte masivo	50
Llantas de vehículos fuera de carretera	5

Fuente: (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2017).

El objetivo de esta resolución es, por una parte, disminuir las cantidades de llantas desechadas en las ciudades del país, todas estas deben adaptarse a los umbrales preestablecidos, de esta forma todos lo que quieran ser parte de este sistema de recolección podrán hacerlo cumpliendo los umbrales, el proceso que ellos realizaran se basa únicamente en la recolección, donde se tiene en cuenta, los siguientes:

- Consumidor y comercializador: por una parte, el comercializador debe informar a sus clientes los que se hará con las llantas de cambio, este podrá decir, por una parte, si sirven para reencauche, si este criterio no es suficiente, el comercializador debe comprometerse en hacer llegar las llantas a los diferentes puntos de recolección.
- Se realiza un sistema colectivo de recolección selectiva, que es un sistema donde productores y consumidores se comprometen a la recolección de las llantas llevándolas a uno

puntos de almacenamiento que deben ser sellados para que estos posteriormente sean aprovechados.

Con esto, el ministerio de ambiente busca que por medio de la ANLA los productores tengan una responsabilidad social, permitiéndoles un modelo de recolección colectivo, de igual forma prestado unos espacios designados para el almacenamiento, con el fin de que en el año 2027 se realice el 80% de la recolección de llantas en todo el país.

En el informe del (Ministerio de Ambiente , 2021), muestra como el país quiere aportar a la economía circular por medio del buen manejo de la llanta que se cambian de la industria minera, en este informe se muestran las principales especificaciones de las llantas de los vehículos que se utilizan en la minería, en este informe muestra cómo se pueden y deben ser aprovechados este tipo de llantas, pues la cantidad de residuos que genera son elevados, así como también su tiempo de biodegradación supera los 500 años, generando problemas nocivos, es por ello que define los siguientes métodos de tratamiento que pueden ser utilizados para el reciclaje de neumáticos de toda clase de vehículos, desde bicicletas hasta vehículos mineros:

6.3.6.1. Trituración. Es un proceso que puede ser criogénico en donde se aplica directamente nitrógeno líquido para posteriormente sea triturado, también puede ser mecánico, es el proceso previo donde una máquina ejecuta la trituración y este cada vez puede hacer que el cuaco tenga unas características de tamaño menores, en este proceso es donde se obtiene el polvo de caucho que es utilizado ampliamente en las mezclas asfálticas o también se puede utilizar como sellantes.

6.3.6.2. Pirolisis. Es un proceso de descomposición térmica del caucho, donde se descomponen químicamente en gasóleo, gas y negro de humo, es decir, gracias a este proceso se pueden obtener parte de los componentes que se han utilizado para fabricar las llantas.

6.3.6.3. Incineración. En este proceso se produce combustión de los neumáticos, es un proceso que puede realizar en hornos o al aire libre, gracias a este se genera energía térmica, pero es muy contaminante. Con este proceso se puede conectar por diferentes medios a un motor para generar electricidad.

6.3.6.4. Construcción. Se contempla diferentes métodos donde se puedan aprovechar los diferentes tamaños para crear muros de contención o con las llantas más grandes como las de minería se puedan hacer fondas o botaderos.

6.3.6.5. Termólisis. Se exponen los neumáticos a altas temperaturas con ausencia de oxígeno, haciendo que se rompan los enlaces químicos, con este proceso se obtienen materiales con el que se pueden fabricar nuevos neumáticos.

6.3.6.6. Reciclaje. Se puede reciclar el material que resulta de cada uno del proceso, con el fin de incorporarlos en nuevos, es un buen método de reducción de desechos.

6.3.7. Logística empresarial

Más allá de logística empresarial, la logística es un proceso de suma importancia dentro de las organizaciones, pues a no ser que se hable de una empresa prestadora de servicios, la logística inherentemente es un proceso necesario y muy importante.

La logística es: “ese proceso de gestionar estratégicamente el movimiento y almacenamiento de materias primas, partes y productos terminados, desde los proveedores a través de la empresa, hasta el usuario o consumidor final” (C.W., J.F., & C, 2011).

La logística es un proceso en el que se debe tener mucha precaución, pues no es más que la cadena de suministro que hace que las empresas puedan realizar su trabajo, sin la logística empresarial y haciendo una mala gestión de este recurso muchas partes del proceso se ven afectadas, pues en este proceso se encuentran las principales mercancías, materias prima y dinero que hace que la empresa pueda tener un buen funcionamiento.

6.3.7.1. Etapas de la Logística. A continuación, y con soporte de la figura 5 se evidencia la primera etapa de un proceso de logística.

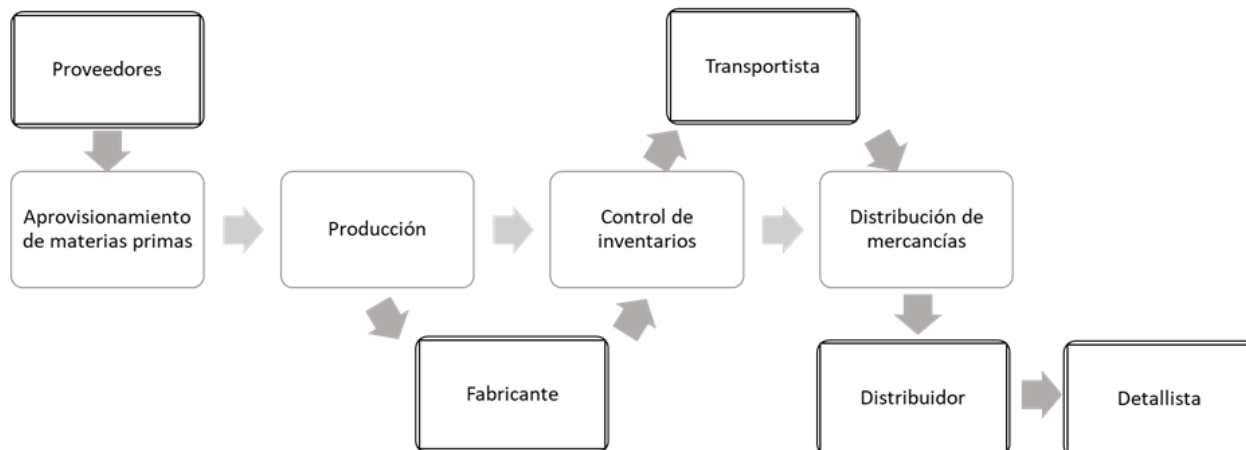
Figura 5

Etapas de la logística



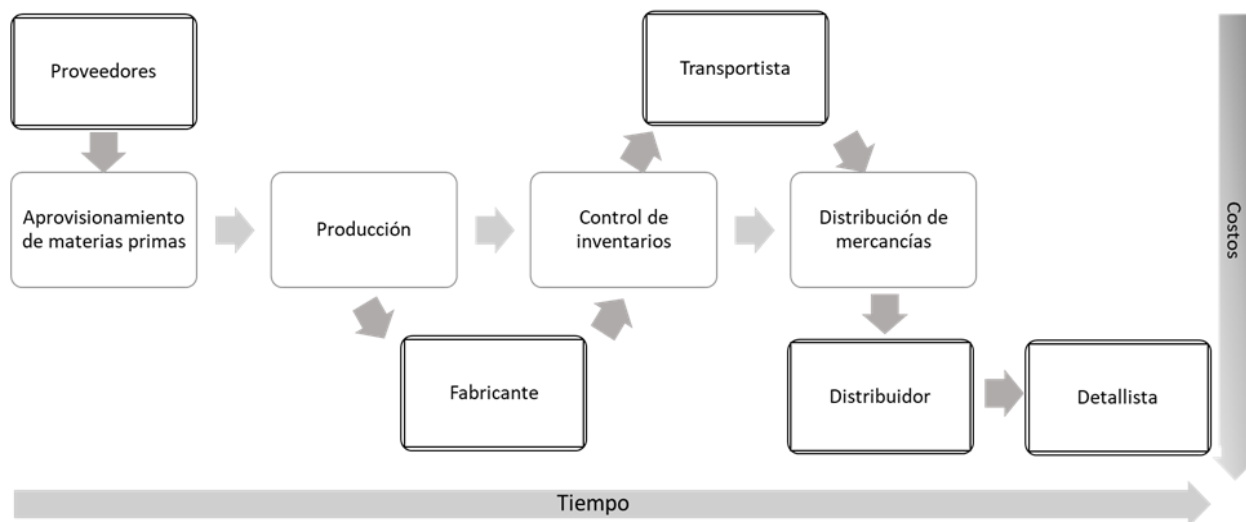
Fuente: Construcción propia adaptada de (C.W., J.F., & C, 2011).

6.3.7.2. Actores Intervinientes. En la figura 6 se muestran los factores intervinientes dentro del proceso, pues sin estos actores el proceso no puede existir o sería muy difícil su funcionamiento, es por esto y completando el gráfico anterior que tenemos los actores intervinientes.

Figura 6*Actores intervinientes en la logística*

Fuente: Construcción propia adaptada de (C.W., J.F., & C, 2011).

6.3.7.3. Variables de Logística. Una variable se refiere en primera instancia a factores que intervienen en un proceso y como su nombre lo dice son operadores que pueden variar, se pueden tener de dos tipos, dependientes e independientes, como lo son el tiempo y los costos de producción respectivamente, en la figura 7 se pueden representar como una línea horizontal para el tiempo, pues este no puede retroceder y una línea vertical para los costos, pues se busca reducir al mínimo estos.

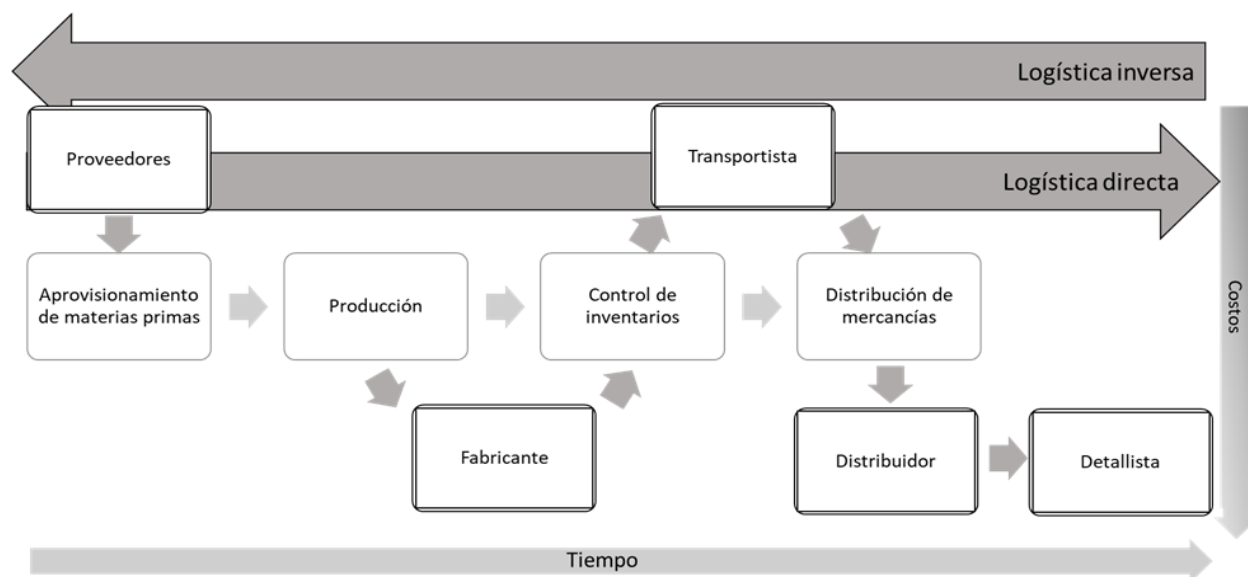
Figura 7*Variables de logística*

Fuente: Construcción propia adaptada de ((Lamb, Hair, & C, 2011)

6.3.7.4. Logística Inversa. La logística inversa es un término relativamente nuevo, surge de las políticas y gestión de las empresas y organizaciones gubernamentales para promover y realizar una producción más limpia, como se observa en la figura 8, se basa prácticamente en la forma de que ciertos productos pueden volver a las organizaciones para poder ser reciclados y reutilizados, de esta forma se incorporan de nuevo a la producción para que de esta forma se reduzcan costos y sobre todo se reduzca la mala cultura del desperdicio (Badenes, 2017), en el gráfico que se ha venido mostrando la logística inversa y directa se pueden representar de la siguiente forma, es por ello que en este proyecto se busca implementar y definir y mejorar todos los campos de recolección y distribución de los neumáticos dentro de la ciudad de Bogotá, construyendo de esta manera un plan integral de recolección de llantas que sea eficiente y pueda reducir en gran medida los niveles de desecho dentro de la ciudad.

Figura 8

Logística directa e inversa



Fuente: Construcción propia adaptada de (Badenes, 2017).

6.3.8. Simulación de procesos

La simulación es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo informático de un sistema o proceso y realizar experimentos en este modelo con el objetivo de comprender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias que se pueden operar.

La simulación es el proceso lógico matemático de producir un sistema o proceso que se realiza a través de programas como FlexSim, un paquete de software de simulación diseñado para generar entornos interactivos (FlexSim, 2022) que muestran una simulación de lo que está sucediendo o podría suceder en la vida real. Operaciones que tienen lugar, al simular la generación de una historia artificial que involucra un sistema en un momento dado, las observaciones de esta historia a través de manipulaciones experimentales ayudan a inferir las características operativas de tales sistemas (Borda & Rodríguez, 2021).

7. Marco Metodológico de la Investigación

El siguiente trabajo se desarrolla bajo el modelo de investigación descriptiva, tomando también modelos con características mixtas, teniendo en cuenta la existencia de datos cuantitativos y cualitativos, realizando una revisión detallada en los diferentes repositorios, fuentes de información primaria y secundaria, para posteriormente realizar un correcto análisis y síntesis de estos (Sampieri, 2008). Con el fin de garantizar el cumplimiento de los objetivos y sabiendo que uno antecede el otro, se establecen las siguientes fases de investigación.

7.1. Fase 1. Síntesis de la disposición final de las llantas.

Con el fin de conocer la situación actual de las llantas luego de que cumplen con su función principal, se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda en diversos repositorios y bases de datos bibliográficas. Se consultaron bibliotecas digitales que ofrecen acceso a libros, tesis, informes técnicos y otros materiales, como Google Scholar, JSTOR y Pro Quest. Además, se examinaron los repositorios digitales de universidades, institutos de investigación y otras organizaciones, donde suelen alojarse trabajos académicos y científicos producidos por su comunidad académica.

Asimismo, se consultaron repositorios y bases de datos mantenidos por entidades gubernamentales, que suelen ofrecer datos y estadísticas relevantes para investigaciones y proyectos. Todo esto se hizo con el propósito de ampliar y obtener conocimiento sobre las diversas posibilidades que se pueden llevar a cabo con las llantas recicladas.

La información recopilada se presentó de manera organizada mediante tablas, indicadores y recursos gráficos, lo que permitió mostrar de forma clara, detallada y sencilla la información recolectada durante el proceso de investigación.

7.2. Fase 2. Establecimiento de un proceso logístico.

Para instaurar un proceso logístico que se adapte a las necesidades de la ciudad y del proyecto se tendrá en cuenta los “Niveles intervinientes en una red logística” (Paz & Gómez, 2013), por esta razón se realizara en las siguientes etapas:

7.2.1. Etapa 1. Recolección de información:

La información será de tipo primaria, se realizaron encuestas en los principales puntos de comercialización de llantas, en estos lugares comerciales es donde más se acumulan llantas, obteniendo información acerca de los niveles de desecho y el manejo que estos puntos de compra vente le están dando.

7.2.2. Etapa 2. Definir puntos críticos:

Busca presentar los principales sitios de la ciudad que más pueden generar desechos, definiendo también una ruta de acción en la que se plantera si se crean centros de acopio u otros mecanismos que ayude a mejorar la situación de desecho y contaminación en la ciudad.

7.2.3. Etapa 3: Establecer ruta y proceso logístico:

Mostrará el proceso de logística donde se definiendo los puntos de recolección, así como mecanismos suplementarios, como logística inversa, cultura ciudadana; de esta forma generar y proponer el proceso de logística.

7.3. Fase 3. Propuesta de proceso productivo.

Con el fin de componer un proceso productivo y con la información obtenida de la logística y buscando una línea que se adapte a la economía de la ciudad, se podrá mostrar un modelo

productivo que definirá etapa por etapa todo el proceso desde que la llanta o neumático llega a las instalaciones hasta que este se vuelve polvo, para que de esta forma sea evaluada a través de la simulación 3D.

En el diseño y construcción del proceso, se consideró la implementación de una solución altamente eficiente y adecuada para las condiciones de tráfico e infraestructura de la ciudad. El objetivo era reducir significativamente los niveles de desperdicio. Para lograrlo, se buscó una metodología de fácil instalación, que no requiriera de mano de obra altamente especializada. Esto permitiría optimizar la implementación y ejecución del proceso, asegurando así su eficacia y éxito en el contexto urbano específico.

7.4. Fase 4. Construcción de un modelo de simulación 3D del proceso.

Para finalizar se simuló el proceso productivo con la línea de producción previamente definida, con el fin de visualizar de forma interactiva un modelo que refleje de mejor manera la realidad, gracias al programa FlexSim se podrá evaluar los indicadores de productividad y capacidad, así como también el flujo operacional, para evaluar el teórico con lo práctico.

8. Resultados y/o Propuesta de Solución

8.1. Síntesis de la disposición final de las llantas

A continuación, se presenta una caracterización de la disposición actual de residuos posconsumo de llantas en la ciudad de Bogotá D.C., abordando los aspectos más relevantes en torno a esta problemática. En dicha caracterización, se estudió el origen de estos residuos, identificando los diversos sectores generadores, como el sistema de transporte masivo, transporte de carga, talleres mecánicos, usuarios finales, y demás actores. Por otra parte, se localizaron aquellos lugares de Bogotá donde llegan y se acumulan estos residuos, considerado sitio de disposición controlada y no controlada. Finalmente, se exploraron las diferentes opciones de tratamiento disponibles, tales como la incineración, el reciclaje y la reutilización. Cada una de estas alternativas ha sido evaluada en función de sus usos y aplicaciones, considerando tanto la obtención de nuevos productos a partir del reciclaje del caucho de las llantas usadas, como las diversas oportunidades de reutilización, por ejemplo, en obras civiles, fabricación de muebles, artesanías, recreación, jardinería, entre otras. Esta caracterización proporciona una visión integral de la disposición actual de los residuos posconsumo de llantas, permitiendo la identificación de áreas de mejora y la implementación de estrategias más efectivas y sostenibles en la gestión de estos desechos (Firestone, 2022).

La problemática de las llantas o neumáticos luego de que cumplen su vida útil y por estándares gubernamentales, no pueden seguir cumpliendo con su principal funcionamiento. Según el código nacional de tránsito, las llantas de un automóvil deben tener una verificación cada cinco años, donde el mecánico define si es momento de cambiarlo o no, de igual forma establece que las llantas en un vehículo no debe sobre pasar los 10 años, a su vez establece ciertos factores

y hábitos que se deben tener en cuenta, que provocan que la vida útil de las llantas pueda variar como los que se muestran en la figura 9.

Figura 9

Variaciones en la vida útil de las llantas

Físicos	Conducción	Ambientales
Antigüedad Contacto con sustancias químicas Perforaciones	Altas velocidades Mala conducción Derrapes inesperados	Temperaturas extremas Luz solar Vías con múltiples irregularidades

Fuente: Construcción propia adaptada de (Senado de la república, 2022).

Las estimaciones de la vida útil de las llantas varían según el tipo de vehículo, este dato surge de kilometraje, años y peso principalmente; se estiman de esta forma, pues no hay un dato exacto, como se mencionó anteriormente, la vida útil también varía del tipo de usuario y del cuidado este le dé, también por las vías en la que el usuario suela manejar el vehículo, de esta forma y como se muestra en el tabal 6 se puede realizar la siguiente estimación (Michelin , 2020):






Tabla 6

Estimaciones vida útil de los neumáticos

Tipo de vehículo	Rin	Km	Peso	Años
Bicicleta	12-28	10000	4-5 Kg	15
Moto	17-20	5000-10000	6-7 Kg	10
Automóvil	14-17	45000-50000	6-9.5 Kg	5-10
Camioneta	16-18	40000-60000	8-10.5 Kg	4-10
Comercial	15-18	31000-60000	8-13 Kg	3-7
Pesado	19-22	50000-55000	15-30 Kg	3-10
Minero	25-84	----	1000 Kg	10

Fuente: Construcción propia adaptada de (Senado de la república, 2022); (Michelin, 2022).

Tabla 7*Tabla resumen disposiciones finales*

Procesos	Productos	Imágenes
Trituración	<ul style="list-style-type: none"> •Cucho triturado. •Polvo de cucho. •Polvo de caucho compactado: pisos, paredes, mantillo. • Revestimientos. •Estuco. •Materiales para la industria del calzado. 	
		
Pirolisis	<ul style="list-style-type: none"> •Gas similar al propano. •Aceite para refinar el Diesel. •Coque. •Acero. 	
		
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> •Energía •Energía eléctrica 	

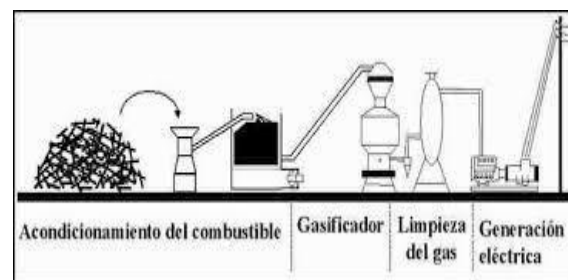
Construcción

- Muros de contención.
- Presas.
- Control de vibraciones.
- Rellenos.
- Estabilización de taludes.



Termólisis

- Acero.
- Carbonos.
- Hidrocarburos.



Reciclaje

- Muebles y artículos para el hogar.
- Guardabarros.
- Cintas transportadoras.
- Artesanías



En la tabla 7 muestra un resumen general de la disposición que se le da a las llantas, esta información fue obtenida de diferentes fuentes de información secundaria.

Se puede evidenciar que las llantas no deben ser vistas ni tratadas como desecho luego de cumplir con su función principal, pues son muchas las técnicas de reciclaje en las cuales se pueden abordar y también implementar un modelo de economía circular, para este proyecto se ha decidido utilizar la técnica de trituración para obtener material polimérico triturado (Hermida, 2016).

8.2. Establecimiento de un proceso logístico

Se busca crear un modelo de logística para la correcta disposición de las llantas en la ciudad de Bogotá, buscando que los pequeños, medianos y grandes comerciantes de llantas de la ciudad tengan un modelo atractivo y eficiente; de esta manera disminuir productos que no generan beneficios monetarios, que se repasan y muestran indicadores negativos dentro de cada una de sus bodegas e inventarios, de esta manera y con una localización tentativa y estratégica se beneficiarían los comerciantes, buscando mejorar los modelos actuales en la ciudad.

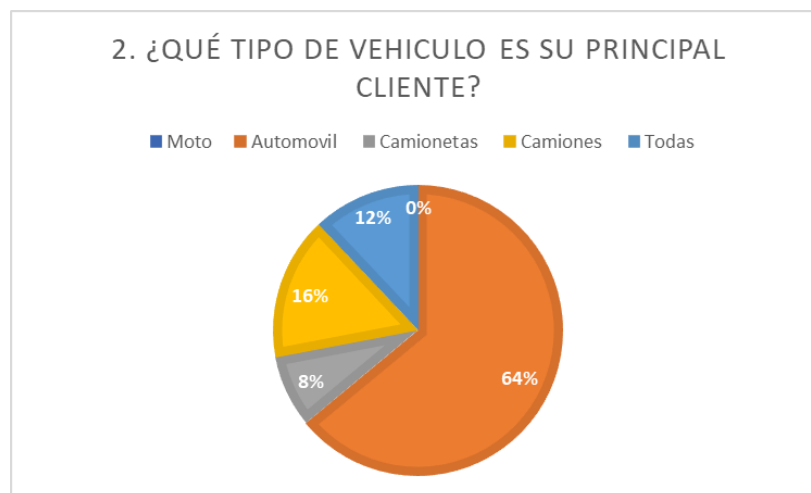
Se realizó la recolección de información, para saber que modelo de logística se puede adaptar mejor a la ciudad de Bogotá, que ayude a la reducción máxima de costos, realizando la siguiente encuesta a los comerciantes del sector conocido como “la sexta” en la ciudad de Bogotá que de 90 comerciantes se obtuvo una muestra de 50, la encuesta se muestra en el anexo 1.

Con respecto a las preguntas realizadas en el sector se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 10*Pregunta 1 encuesta*

Fuente: Construcción propia.

En la figura 10 se muestra la gráfica de la primera pregunta, se realizó la pregunta con el fin de saber la experiencia de los empresarios del sector, de esta manera tener la plena convicción de que realmente el tener llantas estancadas genera gastos y costos extra, siendo un problema para ellos y una oportunidad para el modelo de reciclaje, trayendo consigo el famoso dicho de: “la basura de unos, el tesoro de otros”.

Figura 11*Pregunta 2 encuesta*

Fuente: Construcción propia.

En la figura 11 se puede observar como en Bogotá y gracias a la distribución que tiene la estadística, el mayor problema son las llantas de automóviles que quedan, puesto que la llegada de la pandemia aumento la compra y venta de automóviles, de esta marea y de sentido contrario en el sector donde más se comercializa con repuestos y reparación de artículos para motos se verá reflejado, es decir por estadística dependiendo el sector las llantas van a tener una distribución de tal manera que por sector comercial estas serán las que más se producirán.

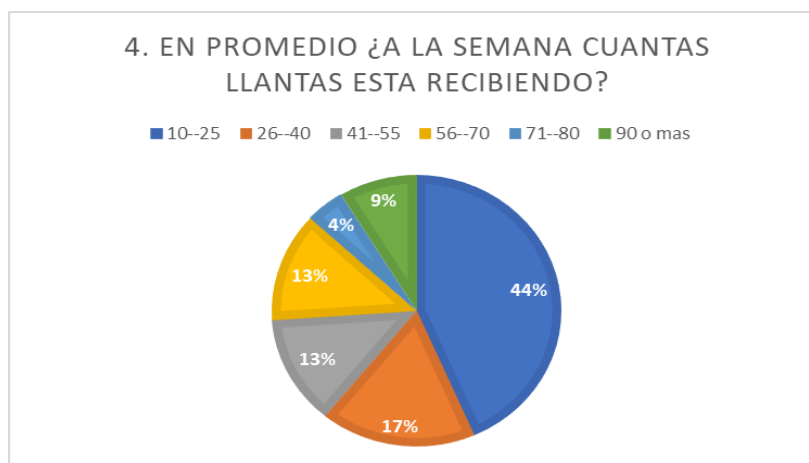
Figura 12

Pregunta 3 encuesta



Fuente: Construcción propia.

La figura 12 indica que la tendencia está entre 1-10 llantas al día en cada local comercial, es un indicador a tener en cuenta, puesto que día a día por lo menos en todo el sector se están recibiendo entre 50 – 100 llantas solo por día, siendo un buen y mal índice, pues de forma positiva indica que día tras día los comerciantes están vendiendo y hacen una buena rotación de inventarios, pero, por otra parte, y de forma contraria, muestra que al tener mal manejo de las llantas de recambio o que ya cumplieron su vida útil muchos de los comerciantes no saben qué hacer con estas llantas.

Figura 13*Pregunta 4 encuesta*

Fuente: Construcción propia.

En la figura 13 se verifica el indicador anterior (Figura 12) es decir, de 8-80 llantas por semana, de nuevo para tener en cuenta, pues solo en sector por semana se pueden llegar a tener entre 400 – 4000 llantas en una sola semana.

Figura 14*Pregunta 5 encuesta*

Fuente: Construcción propia.

La figura 14 muestra como los comerciantes tienen una alianza con rueda verde en la ciudad de Bogotá, a su vez este modelo muestra muchas fallas, puesto que hay que cumplir con un cierto volumen de llantas para que este haga su respectiva logística, a su vez este modelo muestra un indicativo desfavorable para ellos, puesto que a algunos comerciantes se les cobra por la recolección y a otros no, siendo pieza clave para el proyecto un punto en el que se debe tener en cuenta, pues este debe tener modificaciones, cada llanta cuenta, como se pudo verificar los grandes daños que puede hacer al medio, haciendo una revisión, en Bogotá no existe otra estrategia correctamente implementada, de esta forma cuentan con puntos débiles dentro de su recolección.

Figura 15

Pregunta 6 encuesta



Fuente: Construcción propia.

Según los resultados reflejados en la figura 15, los propietarios de cada uno de los locales comerciales no quieren generar más sobre costos, no quieren pagar por algo que es simplemente responsabilidad de otros, pero a su vez están dispuestas a colaborar con el medio ambiente con un modelo atractivo para la recolección de las llantas.

Figura 16**Pregunta 7 encuesta**

Fuente: Construcción propia.

La figura 16 muestra uno de los indicadores más importantes, permite corroborar la información de la pregunta 3, 4 y 6 en la que se debe buscar la oportunidad de ingresar los más pronto posible con el modelo de logística más atractivo, no para una organización en general, sino para las personas y el medio ambiente en busca de la reducción significativa de los residuos.

Figura 17**Pregunta 8 encuesta**

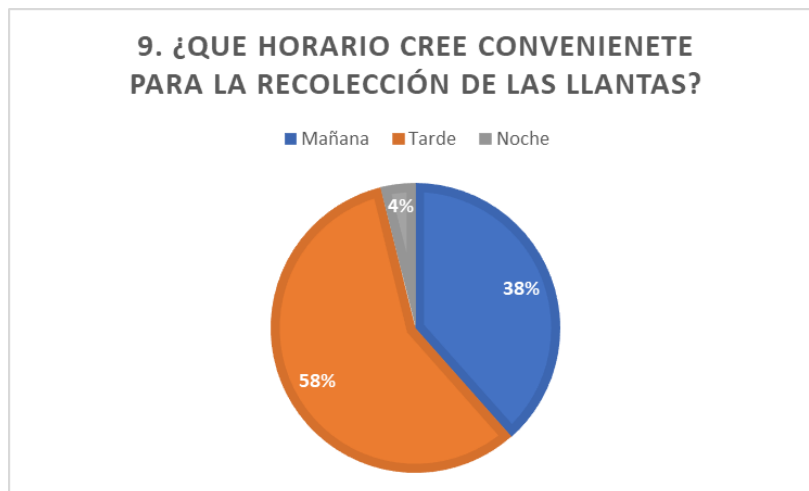
Fuente: Construcción propia.

Aunque existen organizaciones que asumen estos costos, como se observa en el modelo actual de Rueda Verde, donde se cobra a los principales generadores por cada llanta recogida, los empresarios podrían llegar a pagar más de, 80000 \$ por una recolección.

Para abordar esta cuestión, en la figura 17 se procedió a generar un promedio de los precios establecidos por Rueda Verde, que se tomaron en cuenta para este proyecto. Así, se buscó encontrar una solución que equilibrara la necesidad de recolección y reciclaje de llantas con el factor económico, permitiendo que tanto los usuarios como las organizaciones encuentren un beneficio en el proceso de recogida y reciclaje (Rueda verde, 2023).

Figura 18

Pregunta 9 encuesta



Fuente: Construcción propia.

En la figura 18 se muestra un planteamiento para saber en qué momento es conveniente la recolección y que no se vaya a irrumpir la movilidad de la ciudad ni tampoco las actividades comerciales de los locales, de esta manera tener un equilibrio entre llegadas y salidas, de igual forma y realizando el estudio de manera personal se pudo evidenciar que los mejores horarios para realizar dicha logística son entre las 4 y 6 de la tarde.

Para la pregunta 10, al ser una pregunta de tipo abierta, pues estadísticamente su forma de interpretación cambia un poco, Charlando con cada uno de los comerciantes surge una pregunta clave para este proyecto: ¿Por qué no tener un centro de acopio en el sector?, esto puede ser un buen inicio o una buena etapa, puesto que no requiere de costos extras, se realizarían alianzas estratégicas para que cada comerciante se comprometa a llevar las llantas al centro de acopio que está muy cerca de sus locales, disminuyendo de esta manera costos dentro de sus inventarios, puesto que se sabe que el tener un producto represados es un pésimo indicador financiero, ahora bien el tener productos que no generen utilidad será un muy mal indicador, nadie quiere tener guardado algo que le ocupa espacio y no le genera dinero.

8.2.1. Puntos Críticos.

Se han identificado puntos críticos que marcarán el inicio del desarrollo de un plan progresivo de recolección. En este plan, se busca la participación activa tanto de la comunidad en general como de las entidades gubernamentales, como Transmilenio, y entidades privadas, como las servitecas y monta llantas. También se involucrarán los dos principales terminales de transporte.

Una vez establecida la colaboración en estos puntos, el plan de recolección se extenderá gradualmente para incluir a las empresas de transporte que utilizan vehículos pesados. De esta

manera, se busca crear una red sólida y eficiente que permita recolectar de manera efectiva las llantas usadas, asegurando así su adecuado manejo y contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

En la figura 19, se han identificado los puntos críticos seleccionados en la ciudad de Bogotá, los cuales fueron elegidos debido a su alta generación diaria de desperdicios. Los datos ponderados indican que los lugares con mayor actividad comercial son los que generan la mayor cantidad de residuos.

Para estructurar el modelo logístico, se ha tomado como referencia el sistema de transporte público de la ciudad, Transmilenio. Los portales de Transmilenio son estaciones estratégicas que actúan como puntos de conexión y transferencia para las diferentes rutas de buses articulados. Utilizando esta referencia, se replicará la estrategia de implementación ubicando cada centro de acopio cerca de los portales debido a su ubicación estratégica.

Esta decisión permitirá involucrar a todos los grupos de valor relevantes para el proyecto y asegurar rutas de acceso principales, reduciendo los tiempos de transporte y mejorando la eficiencia del proceso. Además, esta estrategia permitirá el desarrollo del proyecto en etapas progresivas, basándose en la exitosa experiencia de Transmilenio en Bogotá.

Al basarse en los puntos críticos y la estructura del sistema de transporte público de la ciudad, el modelo de logística se desarrollará de manera efectiva y se adaptará a las necesidades específicas de la recolección de residuos en Bogotá. Todo este proceso culminará en el centro de acopio, el cual se ubicará en el mayor punto crítico de la ciudad, que corresponde a la mayor comercializadora de autopartes, considerando la información proporcionada por los comerciantes

de la zona. (Alcaldía Mayor de Bogotá , 2022), la información de estos puntos se complementa en la tabla 8:

Figura 19

Puntos críticos Bogotá



Fuente: Construcción propia.

Tabla 8

Descripción, ubicación de los puntos

Punto	Descripción
1	Portal del Norte
2	Portal Suba y localidad Suba
3	Portal 80 y Teusaquillo
4	Fontibón y Portal el dorado
5	“7 de agosto”
6	Portal de las Américas
7	“La sexta”
8	Portal Sur y Sur de la ciudad

Fuente: Construcción propia.

Se definen estos puntos y basado en la ruta de Transmilenio de Bogotá son puntos que cuentan con características como: Puntos estratégicos de la ciudad donde es el centro de cada una de las localidades, a excepción del punto 4, 5 y 6 que estos puntos son los principales comercializadores de llantas tanto de vehículos pequeños como de vehículos pesados de hasta 6 ejes, es por ello que serán los puntos en lo que se hará un mayor enfoque, de igual forma son puntos donde las rutas de acceso pueden estar dadas por autopistas y calles principales de la ciudad, haciendo que el tránsito en horas de la noche se haga más rápido.

Definido los principales puntos críticos de la ciudad, el modelo de logística será dividido en etapas, entendiéndose que irá de la primera a la última, enfocándose primero en los puntos principales de comercialización, buscando que no solo se pueda llegar a adaptar en Bogotá, sino que sea un modelo que se pueda replicar en municipios y ciudades, de esta forma el modelo logístico se propone de la siguiente manera:

8.2.2. Modelo de logística: Etapa 1

Definido ya los puntos, la etapa uno define el principal centro de acopio que se implementaría en la ciudad, es decir, quedando en un punto céntrico y cerca de una zona altamente comercializadora, es por ello que la zona conocida como “la sexta” será el punto donde iniciara y finalizara el modelo de logística, pues es allí donde se ubicara la planta de trituración.

Esta primera etapa de logística, es el modelo más sencillo, pues se basa prácticamente en recolectar las llantas o neumáticos que se obtienen o se producen en el sector, de igual forma es una buena etapa inicial, pues esta tiene:

En la primera etapa para este modelo de logística, se ve que no se está incurriendo en costos extra para nadie, puesto que para los comerciantes que más producen y que son a los que rueda verde si les cobra sería muy tentador, puesto que tienen un modelo de reciclaje y buen manejo con las llantas que ya no se pueden utilizar, de esta manera bajaríamos sus costos y contaríamos con ese mercado que por ahora es de rueda verde con un modelo sencillo donde la planta se ubica dentro del punto crítico, de igual forma a los pequeños comerciantes que rueda verde no les cobra les quitaremos a diario ese represamiento que tienen hasta cumplir con la meta, debido a que en este centro de acopio cada comerciante y persona del común puede llevar desde una llanta mejorando lo que erróneamente está haciendo rueda verde que hay que contar con unas especificaciones requeridas.

8.2.3. *Modelo de logística: Etapa 2*

En la segunda etapa de este modelo de logística, se involucrarán los puntos 3 y 4 que previamente han sido definidos, es decir, el sector conocido como “7 de agosto” y Font ibón, pues estos puntos son principales comercializadores de repuestos para vehículos medianos y pesados respectivamente, son puntos que son críticos, pues ponderando los datos se va a tener una tendencia similar de venta y almacenamiento de llantas, hasta que el sistema rueda verde haga su paso, para mejorar este sistema se utilizara un modelo similar al planteamiento de manejo de la primera etapa, a excepción de que en estos sitios o puntos no se procesara la materia prima, sino que funcionaran como centros de acopio.

A pesar de que en los dos puntos se le dará un manejo similar, se debe especificar que se debe hacer en cada uno y cuáles serán las zonas de influencia de cada uno de estos centros de acopio y las rutas que deben seguir, tomando el modelo de investigación de operaciones ruta más

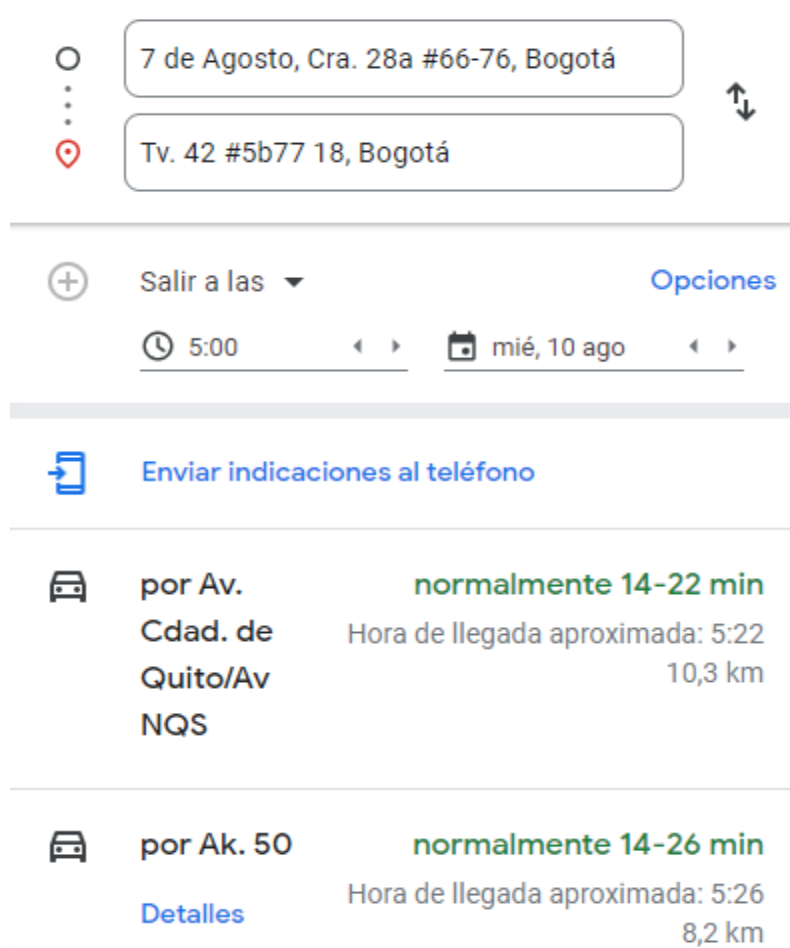
corta que según (Ballou, 2020): “Un problema frecuente en el diseño de rutas, es reducir los costos de transporte y mejorar el servicio al cliente encontrando los mejores caminos que debería seguir un vehículo en una red de carreteras, líneas ferroviarias, rutas de navegación aérea que minimicen el tiempo o la distancia” es por ello que apoyado del software Waze y Google maps que utilizan este modelo se seleccionará la ruta de llegada de cada uno de los puntos a la planta principal.

8.2.3.1. Etapa 2: 7 de agosto. En el sector conocido como el “7 de agosto” será el primero en esta segunda etapa del modelo, pues este punto es un punto donde mayormente se manejan vehículos familiares y camionetas, se busca que sea en una zona céntrica de este sector, donde a su vez se pretende realizar el mismo manejo de la primera etapa que sea un compromiso por parte de las servitecas, los consumidores y los que implementen lo postulado en esta investigación, luego de la recolección estas serán llevadas a un primer centro de acopio, para posteriormente sean llevadas al centro de acopio principal, se realiza esto con el fin de no tener inventarios represados en la planta de producción, pues el principal funcionamiento será lo que se conoce como primeras en llegar, primeras en salir.

Luego de establecido el centro de acopio en este punto y seleccionado la bodega con las especificaciones que más adelante se muestran, se hace la selección por medio de los software, de esta manera y como se muestra en la figura 21, al ingresar la información de la aplicación:

Figura 21

Información ruta punto 5 a 7

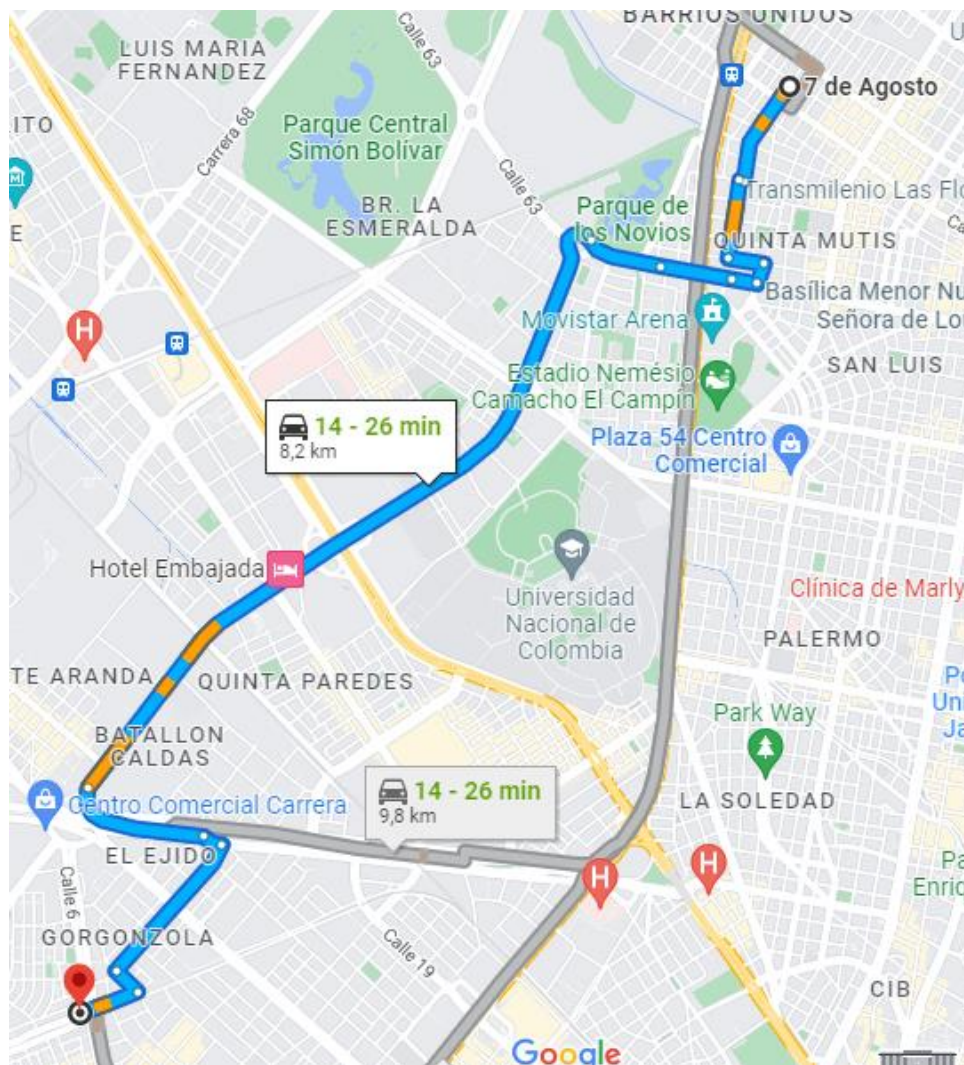


Fuente: Tomado de (Google, 2022).

Luego de ingresar la información, el conductor encargado de realizar el transporte, tendrá plena disposición de seleccionar la ruta teniendo en cuenta aquella que le ofrezca un menor tiempo, buscando optimizar los tiempos de entrega más no la distancia recorrida, en este caso y para toda la ruta se muestra en la figura 22.

Figura 22

Muestra de rutas

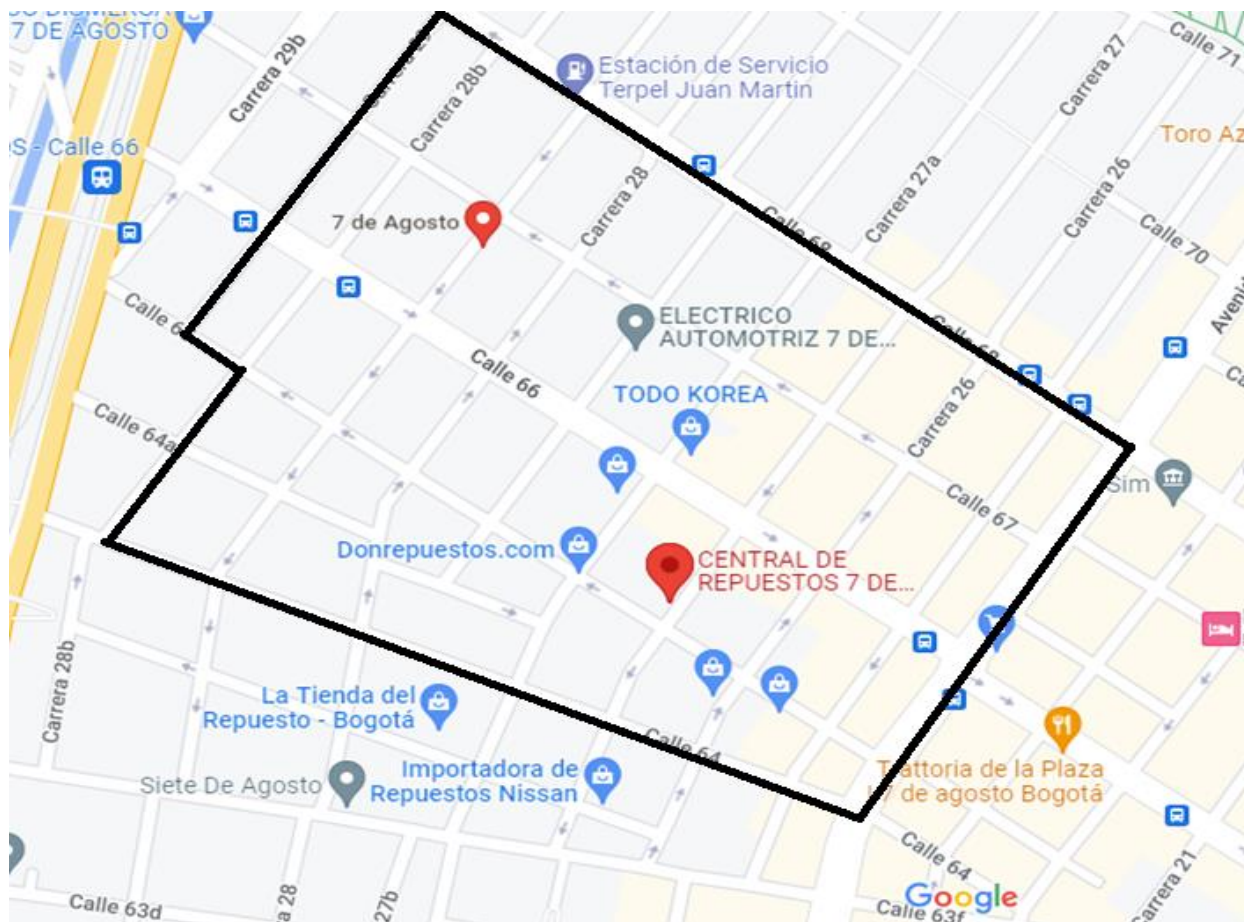


Fuente: Tomado de (Google, 2022).

Para el “7 de agosto” el mapeo se muestra en figura 23.

Figura 23

Mapeo área de influencia 7 de agosto



Fuente: Tomado de (Google, 2022).

la zona de influencia de este centro de acopio esta da por alrededor de 28 manzanas principalmente, que luego serán complementadas por la etapa 5 de este modelo, este punto tiene la característica que funciona similar a la primera etapa, es por ello por lo que se decide que sea el primer punto en que se debe actuar.

Nota: Hay que resaltar una parte clave de esta investigación, en adelante todos los puntos que se mostraron en la tabla 7 se manejan de la misma forma, es decir todas tendrán que pasar por

un ingreso de la información en las aplicaciones, muestra de las rutas y área de influencia, es por esta razón y para reducir información que es obvia e innecesaria que a partir de este punto solo se presentara las características generales, por qué se decidió seleccionar el punto y el mapeo de las áreas de influencia correspondiente.

8.2.3.2. Etapa 2: Fontibón y el Portal el Dorado. A partir de esta localización lo que busca este modelo de logística es que la empresa Transmilenio de la ciudad de Bogotá y a su vez la secretaria de tránsito se apropie y ayuden a este proyecto, pues a pesar de no proporcionar información se sabe lo siguiente:

- Transmilenio es una empresa que lleva funcionando desde el año 2000, es decir a la fecha de redacción de este escrito la empresa lleva 22 años de funcionamiento, esta empresa también inicio con 33 buses y a finales del año 2001 ya contaba con 112 buses en total (incluyendo alimentadores), es decir esta empresa desde su inicio ha tenido que como mínimo haber cambiado las llantas de sus vehículos como mínimo en dos ocasiones a lo largo de su funcionamiento (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2022).

Es por esta razón que se busca la participación de la empresa, pues no hay mayor información de que es lo que pasa con las llantas luego de que estas han sido cambiadas en su flota y es evidente que la vida útil de estas son menores a los 10 años, pues las condiciones climáticas, las condiciones de las vías junto a la cantidad de personas que a diario moviliza en la ciudad hace que la vida útil de este tipo de llantas disminuya casi a la mitad, es por ello que se busca un plan integral y colaborativo de logística.

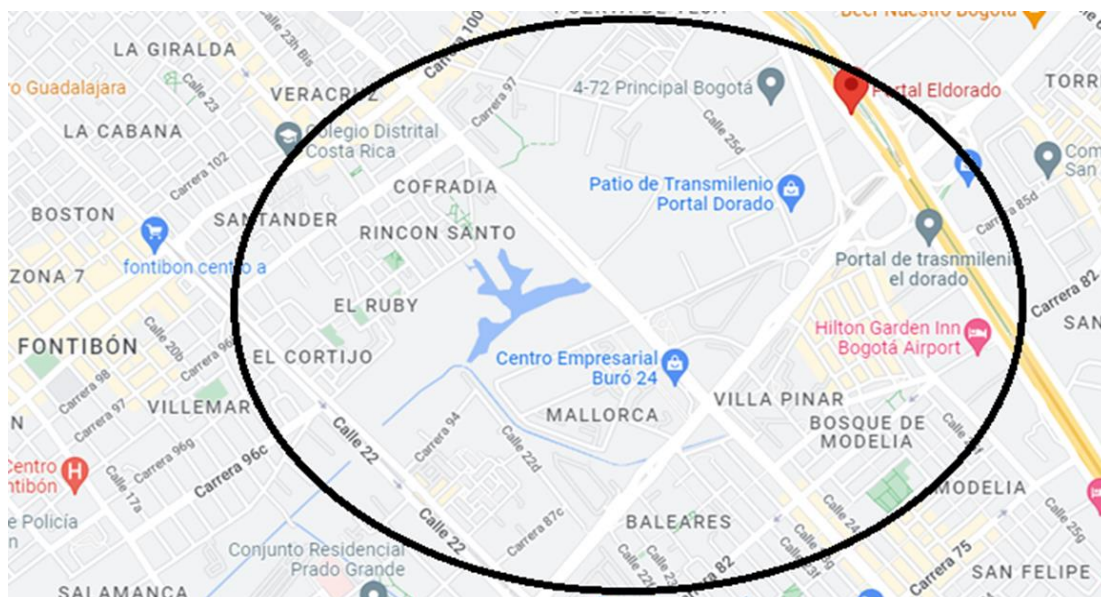
Se selecciona el sector de Fontibón y el Portal el Dorado en esta tercera etapa del proceso, pues son dos puntos relativamente cercanos y que además en la zona de Fontibón es la principal

entrada de vehículos pesados como camiones y tractocamiones, es en este punto el principal centro de compra y venta de repuesto para este tipo de vehículos, es allí donde se localizaría el principal punto de recolección y almacenamiento de vehículos de tipo pesado, también porque en esta zona o cerca se encuentra el principal terminal de transporte terrestre no solo de la ciudad sino del país, también por esto se busca un plan colaborativo en donde este tipo de empresas se apropien de manera correcta de una responsabilidad social.

En esta etapa no se muestra en la figura 24 definidas, sino le que busca es que sea una localización estratégica, bajo el óvalo presentado, no puede ser un punto que este sobre la calle 13 ni mucho menos que este sobre la calle 26, pues no sería óptimo, en uno hay alta afluencia de vehículos a en todas las horas del día y en el otro es una zona donde en horas pico se congestiona respectivamente.

Figura 24

Área de influencia etapa 2 Fontibón



Fuente: (Google, 2022).

8.2.4. *Modelo de logística: Etapa 3*

Al igual que en la segunda etapa esta tercera etapa será desarrollado de forma paulatina y teniendo subetapa, en esta parte del modelo de logística se atacan los puntos críticos restantes, pues al entenderse que cada etapa es también una a través del tiempo, es por ello que se dividirán para atacarlos a través del tiempo, en la tabla 9 se muestra como esta investigación sugiere que se ataque cada uno de estos puntos, para que de forma progresiva se alcance la delimitación de este proyecto, también cabe aclarar que se muestran los puntos enlistados entendiéndose que el que está de primeras en la lista será al que se le dará mayor prioridad en esta parte del proceso y así sucesivamente, para poder continuar a la siguiente etapa.

Tabla 9

Descripción etapa 3 modelos de logística

Punto	Descripción
Portal Norte	En este punto denominado para este proyecto zona norte, buscará tener un centro de acopio para el Transmilenio y los buses de esta zona, también es un punto de control para toda la zona norte, pues en ella se encuentra el terminal del norte, pues allí se ubican los buses para toda la zona norte del país, por ello se pone antes de la zona sur por el detalle del terminal, se busca no intervenir las rutas por la auto norte ni entradas a la Av. Boyacá.
Portal Sur	Denominado zona sur, será un punto clave en el modelo de logística, pues con este punto inaugurado la zona de influencia de este proyecto estaría alcanzado una cobertura casi total, estará encargado de la recolección de localidades como 20 de julio, Usme, Lucero, Tunal y será apoyado por el siguiente punto ubicado en la zona industrial.

Portal Américas	Punto cercano y casi céntrico de este proyecto, lo que se pretende con este es que apoye las labores de la zona sur, denominado zona industrial para este proyecto, será el encargado de recolectar las llantas que surgen de sectores como patio bonito, Américas, banderas y Corabastos.
Portal 80 y Suba	Este punto denominado Zona 80 serán los encargados de recolectar y complementar a la zona sur, de esta manera tener una cobertura total de sectores como la Av. Boyacá, Av. Cali, Carrera 30 y Av. 68.

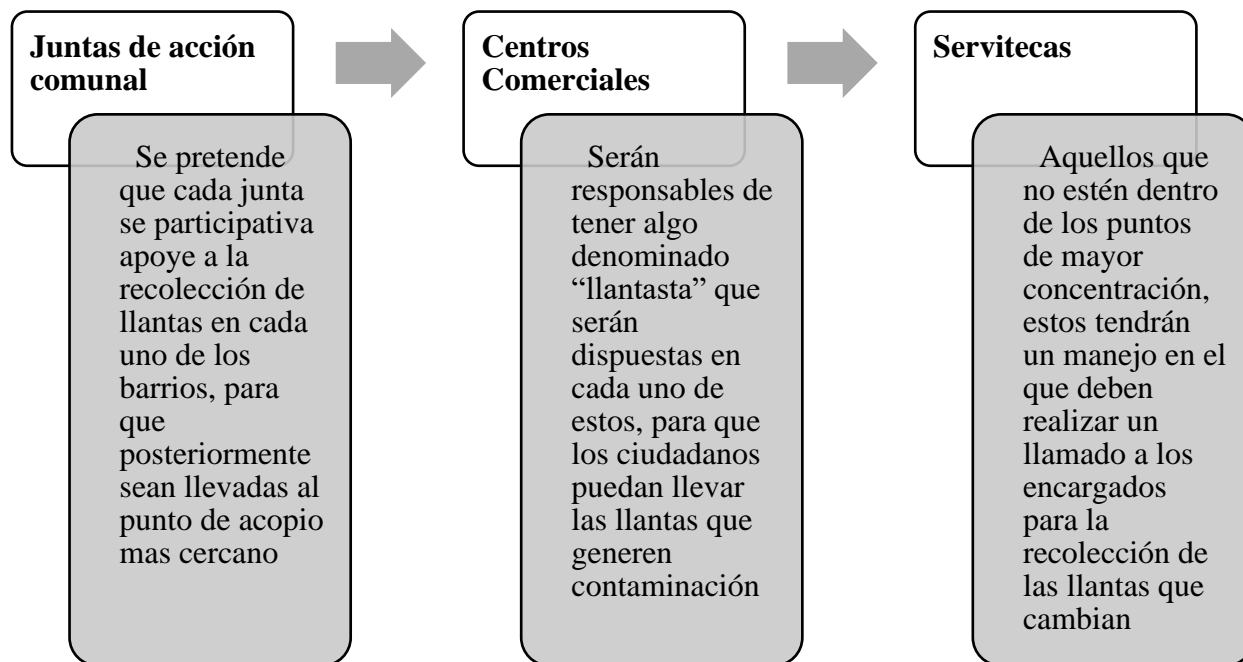
Fuente: Construcción propia.

8.2.5. Modelo de logística: Etapa 4

En esta última etapa y como se especificó anteriormente, es una etapa de complementos que se realiza según la figura 25:

Figura 25

Descripción etapa 4 modelo de logística



Fuente: Construcción propia.

8.2.6. Generalidades

Culminado la propuesta del modelo de logística, se muestran algunas generalidades de este, que se pretenda sirva de ayuda en el momento que alguna empresa o persona natural quiera implementarlo, para que este proyecto se desarrolle se muestran las siguientes generalidades.


8.2.6.1. Vehículos. Los vehículos que se pueden utilizar pueden ser furgones, camiones pequeños, camionetas y motos con remolque, todo esto bajo las disposiciones legales del código nacional de tránsito.

8.2.6.2. Apilado. En las “llantastás” se recomendará que se ubiquen de forma de la más grande a la más pequeña, en cada uno de los vehículos y dentro de las bodegas o centros de acopio serán ubicadas, las llantas más grandes serán la base del apilado, si ubicadas las más grandes abajo y las más pequeñas arriba, también buscado optimizar el espacio aquellas llantas que por su diseño y volumen serán ubicadas una dentro de la otra haciendo un sistema similar a las muñecas Matroska originarias de Rusia, es decir una dentro de la otra.

8.2.6.3. Formatos. Los siguientes formatos que se muestran se realizan con el fin de que las empresas o personas naturales tengan un control, se muestran tres, en la figura 26 se relaciona el formato de recepción de neumáticos y en la figura 27 hace referencia al formato de requerimiento de materiales.


Figura 26

Formato de recepción de neumáticos

						Formato recepción de neumáticos en la ciudad de bogota				
Centro										
Responsable										
Fecha										
Hora (am/pm)	Rin (mm)	Cantidad (unidades)	Zona (Recolección)	Peso (Kg)	Inspección				Observaciones (Encargado)	
					Condición		Humedad			
					B	M	Si	No		

Fuente: Construcción propia.

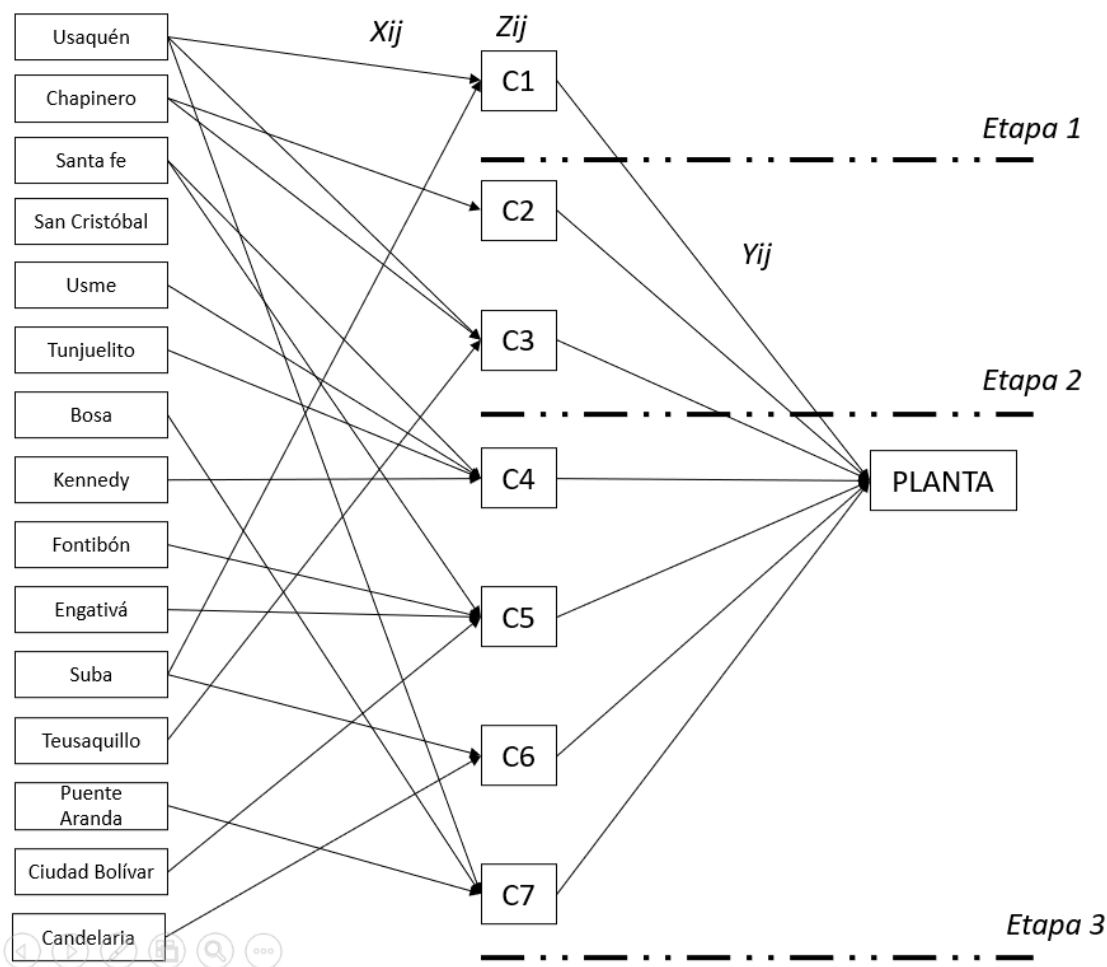
Figura 27*Formato de requerimiento de materiales*

				Formato requerimiento de neumaticos en la ciudad de bogota					
Centro						Codigo			
Resposable						Versión			
Fecha						Area			
N°	Rin	Cantidad	Zona	Descripción				Observaciones	
Autorizado por						Firma			

Fuente: Construcción propia.

8.2.6.4. Compromisos. Al ser un plan colectivo se necesita del compromiso de propietarios de vehículos, comerciantes, entidades gubernamentales, centros comerciales y por supuesto también del ciudadano de a pie, buscando crear una cultura de limpieza y recolección, que puede ser fomentada a través de incentivos como puede ser por ejemplo descuentos en centros comerciales o por parte de las servitecas al llevar las llantas etc.

8.2.6.5. Red logística. En la figura 28 se presenta de forma gráfica la red logística que debe tener el proyecto, mostrando también la cadena de suministro del área productiva.

Figura 28**Red Logística**

Fuente: Construcción propia.

En la figura 28 se muestra la red logística, donde, C1-7, son los centros de acopio que estarán distribuidos por toda la ciudad y P1 será la planta de tratamiento de las llantas, se hace la anotación de P1 porque haciendo una relación producción capacidad instalada puede ocurrir el que se haga necesario la apertura de otra planta de tratamiento en otra zona estratégica de la ciudad o a las afueras.

Planteando un modelo de programación lineal se puede decir lo siguiente:

Función Objetivo: Maximizar la recolección de llantas o neumáticos en la ciudad de Bogotá.

Donde:

X_{ij} : Número de llantas transportado desde los lugares de “producción” de residuos hacia los diferentes centros de acopio; i y j : C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7.

Y_{ij} : Número de llantas transportadas desde los centros de acopio hacia la planta de tratamiento; i : C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7 y j : P1.

W_{ij} : Variable Booleana de tipo 1, 0; donde 1 si el centro de acopio más cercano está en su máxima capacidad; 0 si cuenta con disponibilidad.

Restricciones:

Para este modelo de programación lineal se pueden plantear restricciones de tipo:

- Capacidad de almacenamiento.
- Capacidad de producción.
- Capacidad de transporte.
- Costos de transporte.
- Capacidad disponible.

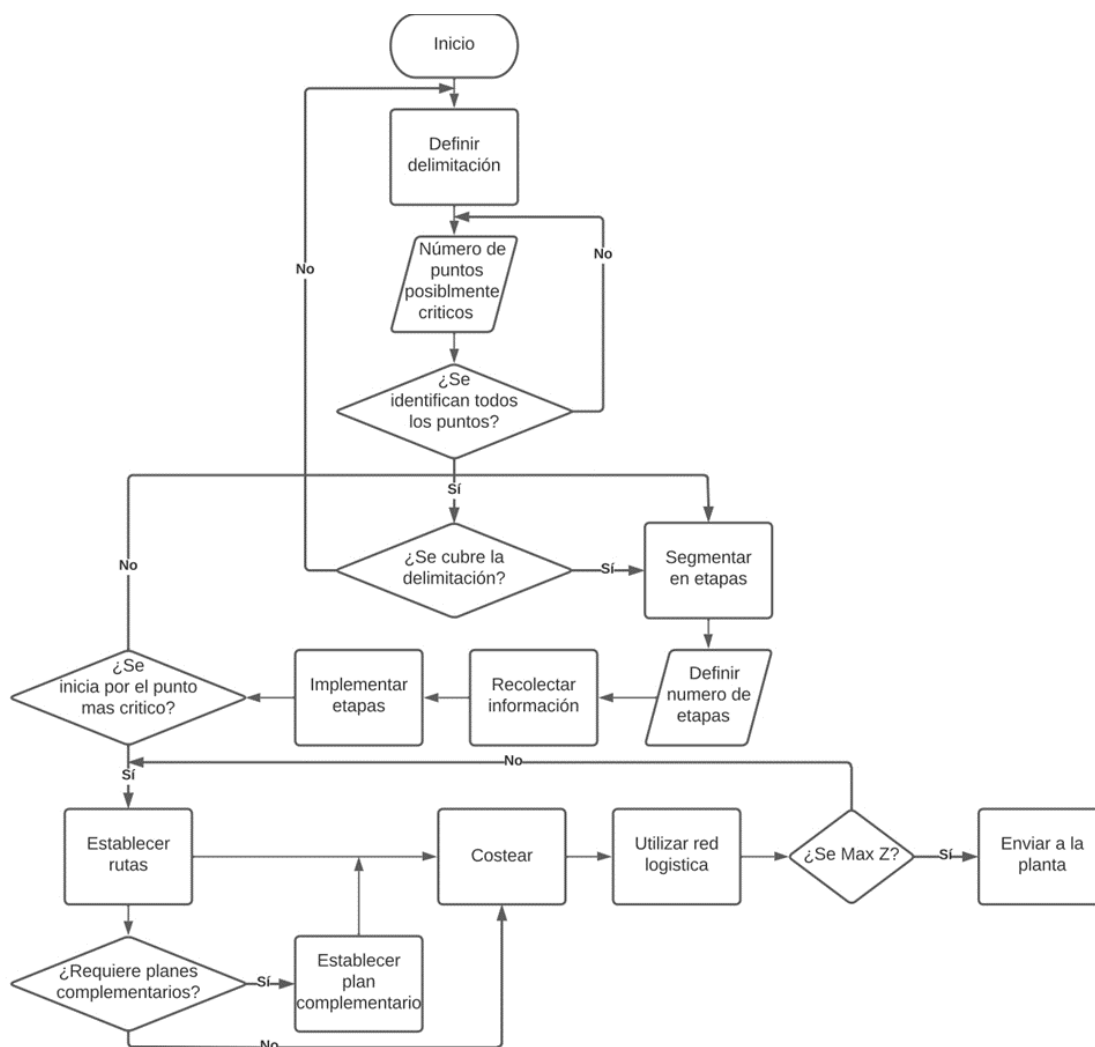
Se muestra el siguiente planteamiento de investigación de operaciones para que se desarrolle conforme se vaya aplicando el proyecto, permitiendo tomar decisiones como apertura o

cierre de centros de acopios o nuevos puntos de fabricación, de igual forma rutas, costos, entre otros.

8.2.6.6. Implementación Proceso de Logística. En la figura 29 se presenta el algoritmo del proceso, con el fin de que futuras investigaciones puedan implementar este modelo que se ha creado en diferentes municipios, áreas metropolitanas, ciudades y países que presenten esta problemática o actividades afines al reciclaje.

Figura 29

Diagrama de flujo implementación de proceso logístico



Fuente: Construcción propia.

8.3. Propuesta de proceso productivo

Para dar contexto y continuar con el desarrollo del proyecto, hay que tener en cuenta que el enfoque de este se basa en un sistema integral de producción que va hasta la obtención de material triturado, de esta forma se define Un sistema integral de producción se refiere a un enfoque holístico y coordinado para gestionar y optimizar todos los aspectos relacionados con la producción en una organización. Este enfoque se basa en la interconexión y la optimización de todos los procesos, recursos, tecnologías, personas y políticas involucradas en el ciclo de producción.

El sistema integral de producción busca integrar todas las funciones y actividades de producción, desde la planificación y programación, la adquisición de materias primas, el control de inventario, la gestión de la cadena de suministro, hasta la producción propiamente dicha, el control de calidad y la distribución de productos terminados.

Este enfoque se basa en la idea de que cada elemento y proceso en el sistema de producción está interrelacionado y afecta el rendimiento general y la eficiencia del sistema en su conjunto. Por lo tanto, se busca la optimización global en lugar de la optimización individual de cada componente.

El proceso productivo seleccionado es un proceso que se basa en la trituración de las llantas para obtener polvo de caucho en diferentes dimensiones, para ello se consultó la empresa alemana Zerma. Una empresa que trabaja produciendo máquinas para el reciclaje de plásticos y llantas, con una trayectoria que inicio en 1943 con las primeras máquinas para procesar plásticos, su principal planta está ubicada en el Shanghái, China y es allí donde se investiga que otras líneas de reciclaje se pueden utilizar alrededor del mundo (Zerma, 2022).



Se decide utilizar este tipo de línea de reciclaje, pues es la única empresa fabricante de líneas de ensamble que permite acceder a la información tanto de precios, como de tiempos de procesos con fines educativos, de igual forma cabe recalcar que esta no es la única empresa fabricante y que los precios que se muestran en este documento pueden variar según la necesidad y capacidad de producción, con fines de realizar la investigación de este proyecto la empresa proporciona información acerca de su línea económica, es decir una línea que se puede adaptar a las necesidades y economía de Bogotá, esta es la línea que será puesta en estudio y se tratará de optimizar dicha línea.

Esta línea de producción se compone de tres etapas, estas a su vez se distribuyen con las siguientes máquinas que componen la línea de Zerma, las fichas técnicas mostradas a continuación cuentan con información acerca de la capacidad instalada de cada una de las máquinas, a su vez características generales como lo son, potencia, diámetros mínimos y máximos de las llantas, se recomienda que el mantenimiento de estas máquinas sea uno de tipo preventivo y programado con anterioridad, pues todas las máquinas son indispensables para el desarrollo del proceso, es decir, el mejor mantenimiento que se puede aplicar a esta línea es uno en el que se le haga a todas las

maquinas al mismo tiempo, las figuras 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36, muestran la ficha técnica de las máquinas que utiliza este proceso productivo.

Figura 30

Ficha técnica maquina 1

Ficha tecnica de maquinaria			
Realizado por	Richard Carvajal	Fecha	27/08/2022
Maquina - Equipo	Removedor de pared lateral de NFU de autos		
Fabricante	Zerma	Ubicación	Planta de producción
Modelo	RPLN1-1	Etapa	1
Marca	Zerma	Precio (usd)	6,05
Características Generales			
Peso	114kg	Superficie	84 cmx84cm
		Dametro min y max	33-81 Cm
Características tecnicas		Foto de la Máquina-Equipo	
<p>220V/60Hz estándar. Requiere conexión para energía eléctrica local Promedio de 180-240 llantas por hora</p>			
Función			
<p>Remover paredes laterales de NFU de automóviles, camionetas y camiones, reduce el volume, proceso previo a triturar, eliminación de estancamiento de agua</p>			

Fuente: Construcción propia.

Figura 31*Ficha técnica maquina 2*

Ficha tecnica de maquinaria			
Realizado por	Richard Carvajal	Fecha	27/08/2022
Maquina - Equipo	Removedor de alambre de paredes laterales de NFU		
Fabricante	Zerma	Ubicación	Planta de producción
Modelo	RAPL5-1	Etapa	1
Marca	Zerma	Precio (usd)	8,715
Características Generales			
Peso 236Kg	Superficie	84 cmx84cm	Dametro min y max 33-55 Cm
Características tecnicas		Foto de la Máquina-Equipo	
<p>220V/60Hz estándar. Requiere conexión hembra 3/4 de rapida conexión. Promedio de 100 - 140 paredes laterales por hora.</p>			
Función			
<p>Separar el metal del caucho, produce piezas 100% libre de metales, remover alambre de las paredes.</p>			

Fuente: Construcción propia.

Figura 32*Ficha técnica maquina 3*

Ficha tecnica de maquinaria			
Realizado por	Richard Carvajal	Fecha	27/08/2022
Maquina - Equipo	Cortador de banda de rodamiento		
Fabricante	Zerma	Ubicación	Planta de producción
Modelo	CBR2-1	Etapa	1
Marca	Zerma	Precio (usd)	4,900
Características Generales			
Peso 114Kg	Superficie	84 cmx84cm	Cuchilla de corte 15,25 Cm
Características tecnicas		Foto de la Máquina-Equipo	
<p>220V/60Hz estándar. Bandas de rodamiento de los vehiculos para obtener bandas mas pequeñas Promedio de 100 - 140 paredes laterales por hora.</p>			
Función			
<p>Corte trasnversal de las neumaticos de los vehiculos con el fin de reducir el volumen, de igual forma se pueden obtener productos reciclados de las piezas</p>			

Fuente: Construcción propia.

Figura 33

Ficha técnica maquina 4

Ficha tecnica de maquinaria			
Realizado por	Richard Carvajal	Fecha	27/08/2022
Maquina - Equipo	Triturador		
Fabricante	Zerma	Ubicación	Planta de producción
Modelo	ZBS 600T	Etapas	2
Marca	Zerma	Precio (usd)	39,668
Características Generales			
Apertura 550x490 mm	Ancho rotor	580 mm	Numero de chuchillas
			25
Características tecnicas		Foto de la Máquina-Equipo	
Potencia 18,5 kW Promedio de 300Kg hora 6l rpm			
Función			
la maquina cuenta con una banda y una tolva por donde son alimentadas, cuenta con una malla que determina el tamaño del material de salida.			

Fuente: Construcción propia.

Figura 34*Ficha técnica maquina 5*

Ficha tecnica de maquinaria			
Realizado por	Richard Carvajal	Fecha	27/08/2022
Maquina - Equipo	Molino		
Fabricante	Zerma	Ubicación	Planta de producción
Modelo	GSE 500/500C5-2	Etapa	3
Marca	Zerma	Precio (usd)	37,667
Características Generales			
Apertura 560x500 mm	Ancho rotor	500 mm	Tamaño de malla
			4mm
Características tecnicas		Foto de la Máquina-Equipo	
Potnecia 30 kW Promedio de 300Kg hora 1500 rpm			
Función			
Granula el material luego de ser triturado, puede alcanzar a granuralo de 2-4 mm de espesor			


Fuente: Construcción propia.

Figura 35*Ficha técnica maquina 6*

Ficha tecnica de maquinaria			
Realizado por	Richard Carvajal	Fecha	27/08/2022
Maquina - Equipo	Separador de metal con tambor magnetico		
Fabricante	Zerma	Ubicación	Planta de producción
Modelo	ZTS/ZTTS	Etapa	3
Marca	Zerma	Precio (usd)	15,750
Caracteristicas Generales			
Peso 214 Kg	Superficie	84 cmx84cm	Rotor 15,25 Cm
Caracteristicas tecnicas		Foto de la Máquina-Equipo	
Potencia 18,5 kW Promedio de 300Kg hora			
Función			
Eliminar la contaminación metálica del flujo del material			

Fuente: Construcción propia.

Figura 36*Ficha técnica maquina 7*

Ficha tecnica de maquinaria			
Realizado por	Richard Carvajal	Fecha	27/08/2022
Maquina - Equipo		Separador de fibras	
Fabricante	Zerma	Ubicación	Planta de producción
Modelo	ZTS/ZTTS	Etapa	3
Marca	Zerma	Precio (usd)	15,750
Características Generales			
Peso 214 Kg	Superficie	84 cmx84cm	Rotor 15,25 Cm
Características tecnicas		Foto de la Máquina-Equipo	
Potencia 15 kW Promedio de 300Kg hora			
Función			
Eliminar la contaminación de fibras del flujo del material			

Fuente: Construcción propia.

Al tener definidas las máquinas que se necesitan para desarrollar el proceso, se procede a realizar una anotación, la línea Zerma de reciclaje es una línea que en su gama de ventas hace referencia a que produce alrededor de 300 Kg/h, con esto no quiere decir que todo su sistema produzca exactamente la cantidad que menciona, pues la capacidad de producción depende del sistema “automático” es decir las etapas dos y tres de su funcionamiento, pues la etapa uno es una etapa completamente manual, se sabe que la capacidad de producción al tener operarios varía, pues hay que tener en cuenta tiempos suplementarios, cambios de jornada entre otro como se plantea en el libro ingeniería de métodos de (Acero, 2009).

Es por esta razón que en este apartado se hará el análisis completamente teórico, es decir, sin tomar en cuenta dichos tiempos y movimientos, mostrando el mapa de procesos, cursograma analítico y por último se presentara el diagrama de flujo, pues estos combinados permitirán determinar los tiempos de ciclo y de igual forma el establecimiento de los indicadores que pueden ser utilizados en el momento de que este proyecto se llegue a implementar.

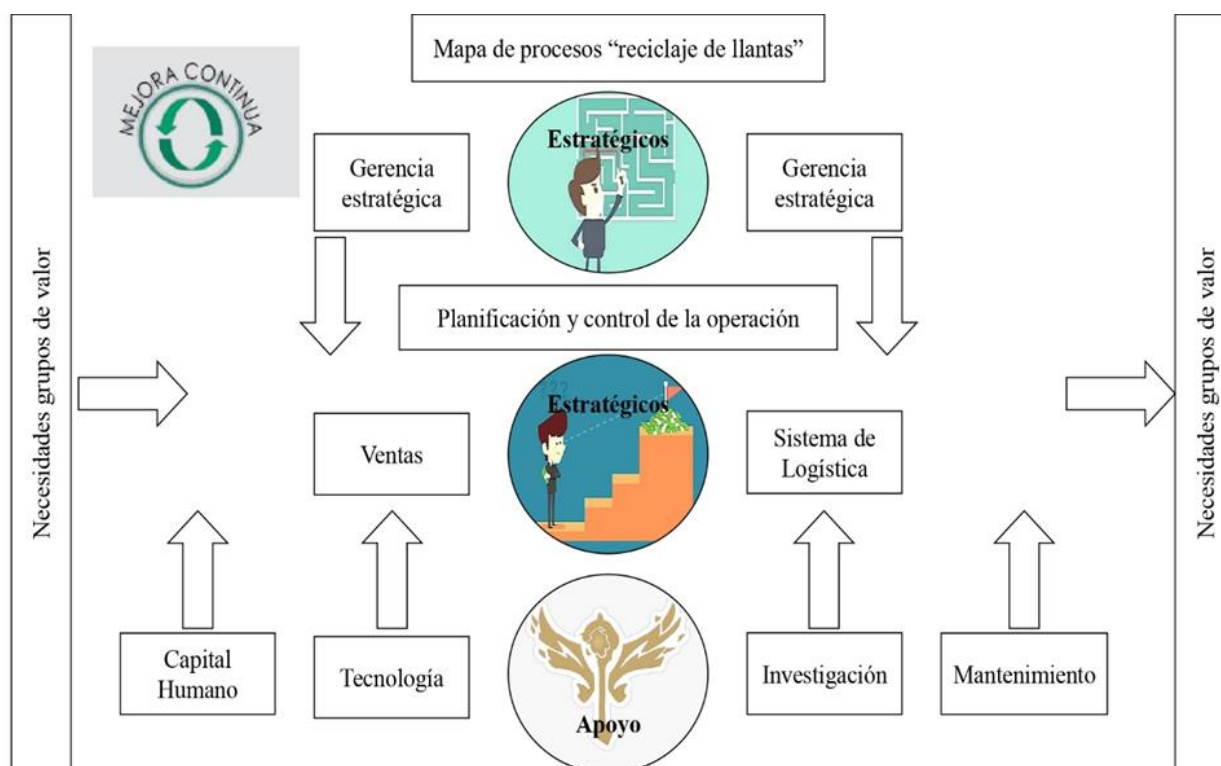
Los análisis de este proceso estarán hechos bajo el inicio de la primera etapa del modelo de logística, donde mayormente se tendrán llantas o neumáticos de rin 12 a 18, con peso entre 6 y 9 kilogramos respectivamente; este tipo de llantas son las que mayormente se comercializan en la zona conocida como la sexta. Se realiza de esta forma con el fin de que las personas que quieran emplear este proyecto puedan tener unas bases sólidas para poder arrancar con su proyecto o idea de negocio, buscando de esta manera disminuir al máximo posible la incertidumbre, también dando una guía de implementación y sofisticación del reciclaje que tanta falta le hace a la ciudad de Bogotá.

8.3.1. Mapa de procesos.

El mapa de procesos para este tipo de organización se relaciona en la figura 37:

Figura 37

Mapa de procesos



Fuente: Construcción propia.

8.3.2. Cursograma analítico.

Con ayuda del cursograma analítico (figura 38) se puede identificar el tiempo de ciclo, es decir, el tiempo en que una unidad pasa por todo el sistema, teniendo un tiempo de ciclo de 1.27 horas, aproximadamente 70 minutos en que la maquinas pueden producir 300 Kg.

Figura 38

Cursograma analítico

Cursograma analítico reciclaje de llantas									
Diagrama Num: 1 Hoja Núm 1		Resumen							
Tiempo: Proceso en una hora		Actividad		Actual	Propuesta	Tiempo			
		Operación			6	6	3746		
Actividad: Reciclaje de llantas		Transporte		4	4	60			
Método: Actual/Propuesto		Espera		1	1	0			
Lugar: Teórico		Inspección		-	-	-			
Operario (s): 4 Ficha núm: 1		Almacenamiento		1	1	60			
		Distancia (m)		11					
		Tiempo (min-hombre)		3,0					
Compuesto por:		- Mano de obra		\$		4.166,00			
Richard Carvajal Fecha: 9/10/2022		Total		\$		4.166,00			
Descripción	Cantidad (kg)	Tiempo (s)	Distancia (m)	Símbolo					Observaciones
				○	□	D	↻	▽	
Alistamiento de llantas	6 a 9	90	-	X					
Transporte de llantas a zona de tratamiento	6 a 9	30	2				X		
Remoción de la pared lateral	6 a 9	30	-	X					Si es vehiculo pesado son 40 s
Transporte zona de eliminación de anillo metalico	6 a 9	10	2				X		
Remoción anillo metalico	6 a 9	15	-	X					Si es vehiculo pesado son 20 s
Transporte zona de corte de bandas	6 a 9	10	2				X		
Corte de las bandas	6 a 9	11	-	X					Si es vehiculo pesado son 15 s
Transporte zona de triturado y molino	6 a 9	10	5				X		
Triurado, molino	300	3600	-	X					
Terminado del proceso	300	-	-				X		
Empaque	300	-	-	X					
Almacenamiento	20	60						X	
Total			3866	11					

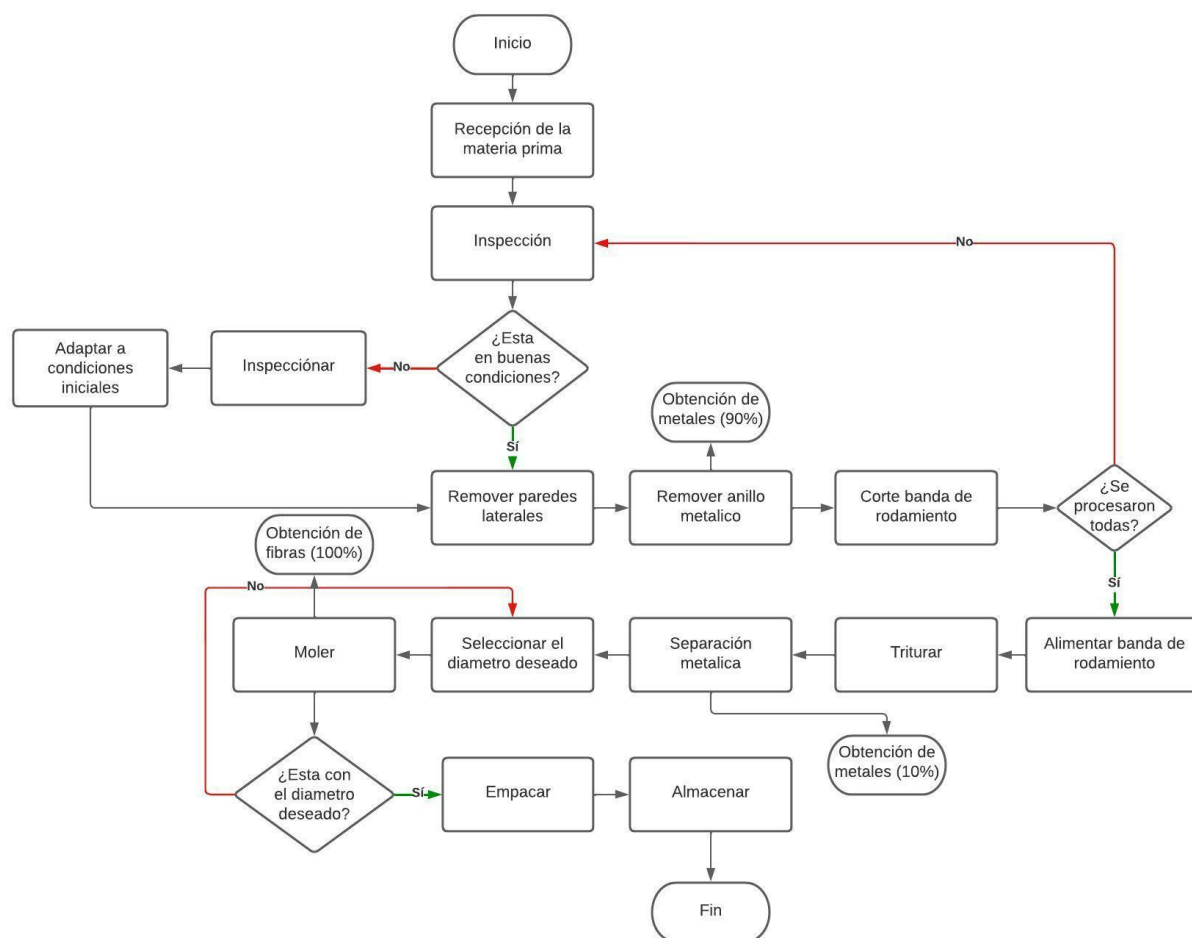
Fuente: Construcción propia.

8.3.3. Diagrama de flujo.

En la figura 39 se muestra el diagrama de flujo de todo el proceso de trituración y molienda propuesto.

Figura 39

Diagrama de flujo proceso de reciclaje de llantas línea zerma



Fuente: Construcción propia.

Luego de tener identificado el proceso productivo y como este funciona se anexarán dos detalles extras, un primer detalle es el balance de materia sin reacción química para tener un punto de comparación entre lo teórico y lo simulado, a su vez se anexan los indicadores y como deben ser implementados.

8.3.4. Balance de materia.

Es ampliamente usada en procesos industriales y se basa en la ley de conservación en donde tanto la materia como la energía no se crea ni se destruye, solo que se transforma, es decir, que las entradas del sistema tienen que ser directamente proporcional a las salidas, en este caso se realizará un balance de materia sin reacción química (UnADM, 2020).

Los parámetros iniciales se relacionan en la tabla 10:

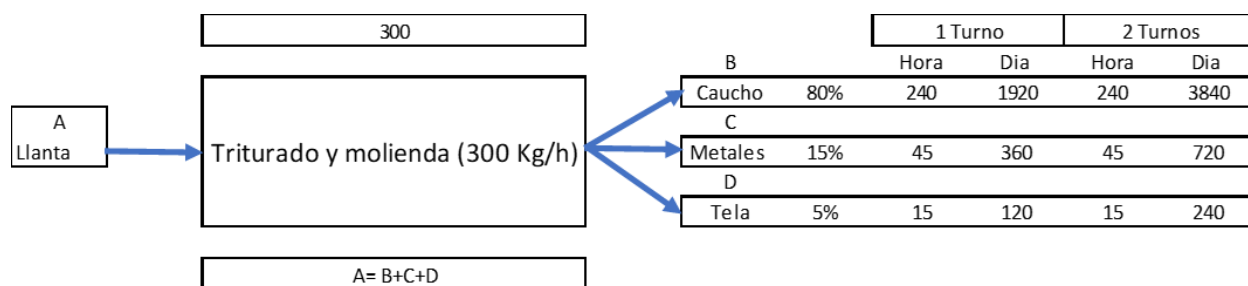
Tabla 10

Parámetros iniciales balance de materia

Rin	Peso (Kg)
12	6
18	9

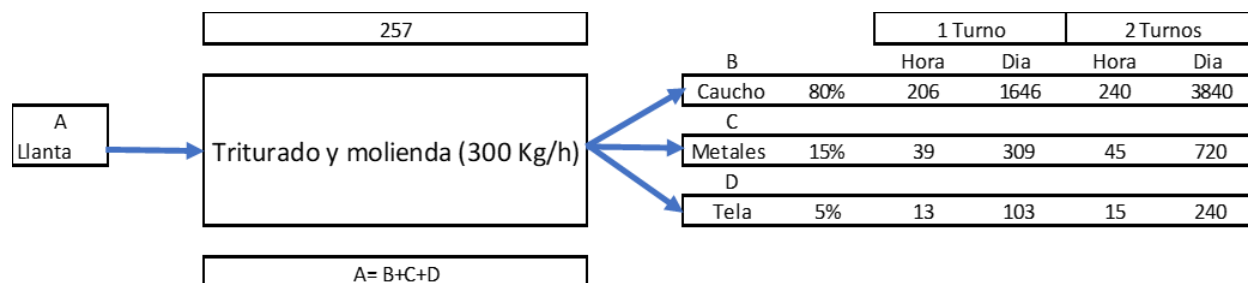
Fuente: Construcción propia

Luego de tener los parámetros iniciales y sabiendo que la planta de trabajo para realizar el ejercicio será de una hora, la producción teórica en kilogramos por día se muestra en la figura 40.

Figura 40*Solución balance de materia*

Fuente: Construcción propia

Sabiendo que hay que hacerle ajustes, pues como se pudo evidenciar en el cursograma analítico el tiempo es 60 min, es decir por cada 60 min teóricamente se deberían producir 300kg de polvo de caucho de diferentes milímetros de diámetro, es por ello que se hace el ajuste como se muestra en la figura 40.

Figura 41*Balance de materia ajustada*

Fuente: Construcción propia

Se realiza este balance de materia con el fin de comparar con la simulación y de esta forma mostrar un porcentaje de error en lo teórico, se recomienda a las personas que deseen implementar

este proyecto utilicen esta relación con base en lo que pasa en la planta de producción, pues matemáticamente el porcentaje de error no debe superar el 5%.

8.3.5. Indicadores

Los indicadores que se muestran en este apartado son propuestas para que el líder del proyecto pueda medir como se está realizando la producción y a partir de estos puedan tomar las decisiones correspondientes en pro de la mejora de su producción, es por ello que se anexan 8 ecuaciones para la evaluación y monitoreo del proceso.

8.3.5.1. Medida Total de la Productividad.

Ecuación 1

Medida total de la productividad

$$M. T. P = \frac{T \text{ Bienes producidos}}{T \text{ Recursos utilizados}}$$

8.3.5.2. Porcentaje utilización de las máquinas.

Ecuación 2

Porcentaje utilización

$$\%U = \frac{H \text{ utilizadas/trabajadas}}{H \text{ disponible}}$$

8.3.5.3. Tiempo de ciclo.

Ecuación 3*Tiempo de ciclo*

$$T.C. = \frac{\text{Items en progreso}}{\text{Tasa de terminación}}$$

8.3.5.4. Rendimiento**Ecuación 4***Rendimiento*

$$R = \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Tiempo empleado}}$$

8.4. Simulación proceso productivo

Para iniciar con el proceso de la simulación, primero se realizará la distribución de la planta, con ayuda de las herramientas como AutoCAD y el método de Guerchet para la distribución y diseño de localizaciones.

Para empezar, se debe acudir al método de Guerchet con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 5***Superficie total***

$$St = N(Ss + Sg + Se)$$

St = Superficie total.

N = Número de elementos móviles o estáticos de un tipo.

Ss = Superficie estática.

Sg = Superficie de gravitación.

Se = Superficie de evolución.

Ecuación 6***Superficie estática***

$$Ss = L * A$$

L = Largo.

A = Ancho.

Ecuación 7***Superficie gravitacional***

$$Sg = Ss * n$$

Ss = Superficie estática.

n = Número de lados operables.

Ecuación 8*Superficie de evolución*

$$Se = (Ss + Sg)k$$

K= Coeficiente de evolución.

A su vez, se pretende dejar un área de 100 m² para almacén que estará distribuido entre un almacén de llantas y un almacén de producto terminado, es decir, un almacén para ubicar los bultos de polvo de caucho, que estarán distribuidos de forma equitativa, es decir 50 m² para cada uno.

Con las condiciones iniciales dadas y sabiendo las especificaciones requeridas, el método Guerchet para este proyecto quedaría solucionado en la figura 42.

Figura 42*Método Guerchet*

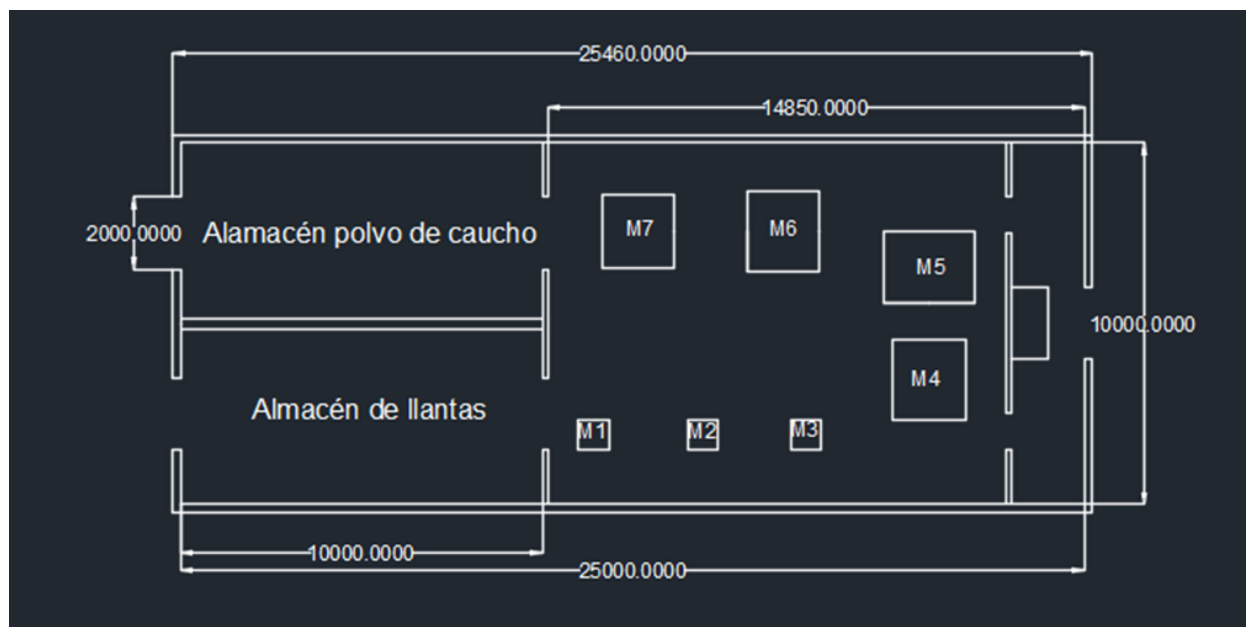
Método Guerchet reciclaje de llantas								
Maquinas	N	n	Largo	Ancho	Ss	Sg	Se	St
Removedor pared lateral	1	1	0,84	0,84	0,71	0,71	2,82	4,23
Removedor alambre	1	1	0,84	0,84	0,71	0,71	2,82	4,23
Cortadora de banda de rodamiento	1	1	0,84	0,84	0,71	0,71	2,82	4,23
Triturador	1	1	2,00	2,20	4,40	4,40	17,60	26,40
Separador metalico	1	1	2,50	2,00	5,00	5,00	20,00	30,00
Molino	1	1	2,00	2,20	4,40	4,40	17,60	26,40
Separador de fibras	1	1	2,00	2,00	4,00	4,00	16,00	24,00
St								147,10

Fuente: Construcción propia.

Teniendo que para fabricación del polvo de caucho se necesitaría aproximadamente 147,10 m², esto junto a los 100 m² destinados al alcance daría un área total de 247,10, haciendo unos ajustes de 0.006% para mejor manejo de la información se deja que el área destinada para la operación es de 250 m². La figura 42 muestra el plano realizando en la herramienta AutoCAD.

Figura 43

Plano distribución



Fuente: Construcción propia.

8.4.1. Modelo de Simulación

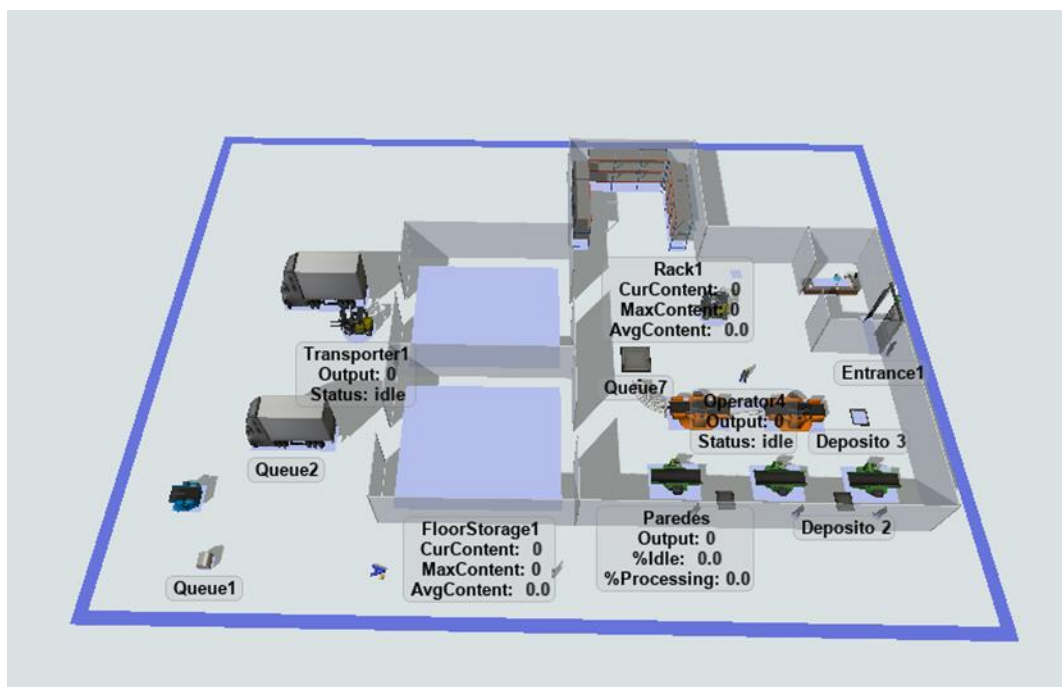
Usando la herramienta FlexSim de simulación se presenta el siguiente modelo, teniendo las siguientes condiciones iniciales:

El objeto que representará las llantas será una caja de color negro y debido a que en el programa FlexSim no se puede generar productos con base en su peso, se hizo la relación de una caja pesa 10 Kg que es más o menos el peso promedio de las llantas de vehículos familiares y camionetas.

En la figura 44 se presenta el modelo de simulación y a partir de este se haría la optimización del proceso con base en aumentar la producción y también a los tiempos de ocio de las máquinas, lo que se busca es que cada una de estas se puedan utilizar casi a su máxima capacidad.

Figura 44

Modelo de Simulación



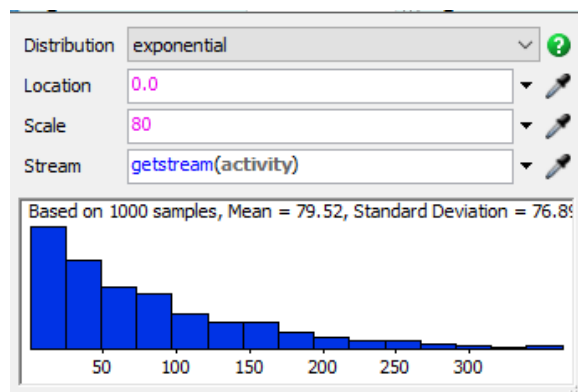
Fuente: Construcción propia.

Con el modelo de simulación se puede observar de manera intuitiva todas las partes y fases del proceso, teniendo la entrada y recepción de la materia prima, pasando luego a todo el proceso productivo descrito en capítulos anteriores, para luego observa la zona de almacenaje y una última zona de alistamiento y embalaje para su posterior comercialización.

Este modelo se realizó con base en la siguiente distribución probabilística (figura 45), una distribución que fue calculada basándonos en la encuesta realizada, donde se puede ver de dos distintas formas, una primera que es la probabilidad de tener kilos de llantas o la probabilidad de tener llantas, teniendo en cuenta esto se realizó el siguiente ajuste en FlexSim:

Figura 45

Distribución probabilística



Fuente: Construcción propia.

Teniendo en cuenta los parámetros iniciales y más importantes del modelo de simulación se procede a realizar la parametrización, es por ello por lo que para las máquinas, cortadora de paredes, separador de anillo metálico y corte de bandas se ha utilizado una distribución T (5,10,8) por cada una de las llantas, pues estas son accionadas manualmente

Utilizando el Flow ítem “Multiproceso” el triturador y separador magnético que con la línea Zerma se hacen de forma automática, se parametrizó un tiempo de proceso de 20 s para cada uno, tiempo que se extrae directamente de la información del fabricante, de igual forma el molino y separador de fibras que con la línea Zerma se hacen de forma automática se estableció un tiempo de proceso de 10 s para cada uno, tiempo que se extrae directamente de la información del fabricante.

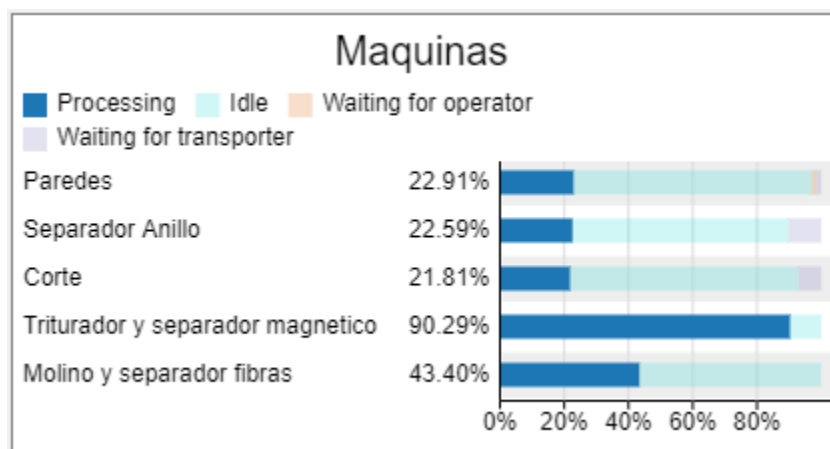
Para el caso de los operarios solo se tiene en cuenta los montacargas, pues los operarios que se utilizan en cada una de las máquinas su tiempo es directamente proporcional a la de las máquinas que utilizan, de esta forma para cada uno de los montacargas se utiliza una distribución triangular de mínimo 3 s máximo 4, excluyendo tiempos suplementarios.

Con todos los parámetros iniciales claros, se procede a correr la simulación para poder visualizar las estadísticas, para este proyecto se generan 3 estadísticas que a criterios de referentes de la ingeniería industrial son de las más importantes, las cuales son:

8.4.2. Nivel utilización máquinas

Figura 46

Estadísticas maquinas



Fuente: Construcción propia.

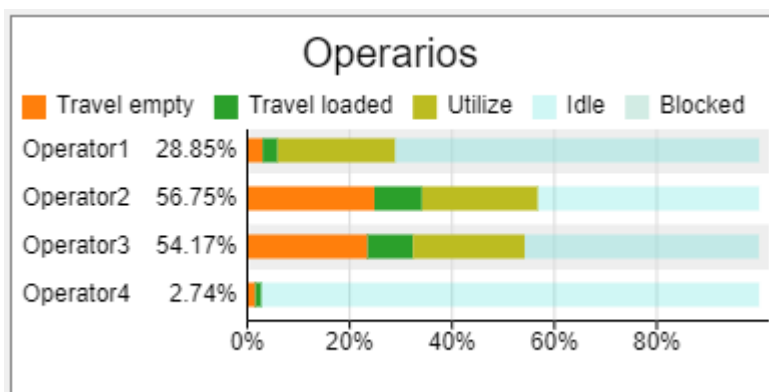
En la figura 46 se puede tener un primer análisis en el cual se puede observar el porcentaje de utilización de cada una de las máquinas, teniendo un primer punto de análisis que se puede convertir en un cuello de botella, el cual está en el triturador y separador magnético, pues al aumentar la producción o a aumentar el nivel de ingreso de materia prima a las primeras máquinas

tener un porcentaje de utilización relativamente bajo se presentara un cuello de botella, debido a esto hay que tener un plan puede ser cambiado gracias a la simulación.

8.4.3. Nivel de utilización de operarios.

Figura 47

Estadísticas Operarios



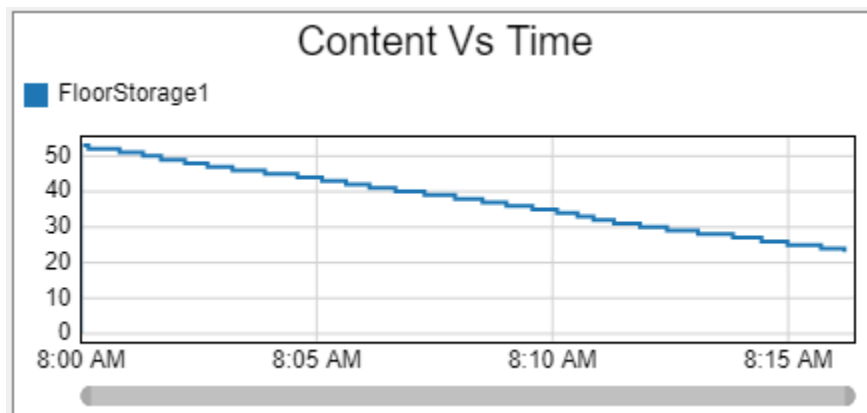
Fuente: Construcción propia.

Con respecto a los operarios que se presentan en la figura 47 se puede observar que es similar, pues al momento de generar las estadísticas el modelo está corriendo, pero es un buen porcentaje de utilización, pues supera el 50% es por ello, por lo que se confirma que se puede aumentar la cantidad de materia prima que se puede aumentar, el operario 4 hace referencia al supervisor de las máquinas automáticas, pero no quiere decir que no esté utilizando.

8.4.4. Contenido vs. tiempo.

Figura 48

Relación contenido vs tiempo



Fuente: Construcción propia.

El propósito esta estadística que se muestra en la figura 48 es ver el comportamiento del inventario con respecto al tiempo, con el fin de observar el comportamiento del inventario con respecto al tiempo, viendo un comportamiento lineal decreciente.

Con ello se presenta un valor agregado a la industria del reciclaje, de esta forma las Pymes que se dedican a este sector puede incluir de forma eficiente a su proceso productivo la simulación sirviendo como ventaja competitiva en la toma de decisiones, y generando de esta forma él adaptación de uno de los pilares de la industria 4.0 con el fin de disminuir y romper con los paradigmas que se generan alrededor de esta industria, de igual forma, ayuda con la responsabilidad social que se debe tener en todos los procesos en fin de la disminución y contribución al cuidado del medio ambiente.

9. Conclusiones

El abordaje del tema surgió como respuesta a una problemática significativa en el país. Como resultado, se implementó un sistema integrado para la reutilización de neumáticos en la ciudad de Bogotá. Este sistema ofrece una solución efectiva y práctica para personas naturales y jurídicas, y puede ser considerado como una oportunidad de negocio que se beneficia del empleo conjunto de herramientas de ingeniería. El proceso involucra una sofisticada logística de recolección, producción y administración del reciclaje.

Se realizó una caracterización exhaustiva de las diferentes disposiciones finales que se aplican a los neumáticos post consumo en todo el mundo. Esto permitió identificar una amplia diversidad de normas y principios asociados a cada enfoque, así como los tipos de productos obtenibles mediante estos procesos y su adaptabilidad en Colombia.

El sistema logístico fue diseñado en etapas progresivas para abordar el problema de manera gradual a lo largo del tiempo. Se determinaron puntos críticos en la ciudad, responsabilizando a los ciudadanos, como principales productores de contaminación. Se establecieron reglas y normativas que deben cumplirse, y se creó un sistema flexible que puede aplicarse en Bogotá y adaptarse a otras localidades en Colombia y a nivel global. La estrategia se basa en la identificación y resolución de los puntos críticos, y se utilizó la investigación de operaciones para crear una red que facilite futuras investigaciones y optimice el proceso logístico.

Luego de caracterizar los diferentes procesos de reciclaje de llantas, se seleccionó el proceso de trituración y molino debido a su capacidad para procesar grandes cantidades a bajos costos y en poco tiempo, lo que le otorga una ventaja competitiva. La empresa Zerma, fabricante de las máquinas, proporcionó información valiosa para representar teóricamente los procesos de

producción mediante diagramas de flujo, especialmente en el caso de la obtención de polvo de caucho, utilizado principalmente en la producción de mezclas asfálticas.

Para mejorar aún más la industria del reciclaje, se llevó todo el proceso previamente seleccionado a la simulación, una herramienta poderosa que permite observar el comportamiento del reciclaje y optimizarlo.

Se recomienda que futuras investigaciones se enfoquen en indagar sobre el uso y reciclaje de neumáticos en la industria aérea, considerando la corta vida útil de los neumáticos en comparación con su tiempo de uso. También se sugiere explorar el reciclaje de neumáticos en la industria minera, buscando implementar y añadir un modelo para el procesamiento de este tipo de llantas. Se invita a investigar y agregar a los modelos de simulación otras formas de producción después de obtener el polvo de caucho. Teniendo en cuenta la importancia del reciclaje, la economía circular y las buenas prácticas, se espera que estos esfuerzos conduzcan a una nueva era de auto sostenibilidad y reducción de contaminación que ha afectado al mundo durante años.

10. Referencias

- Acero, L. C. (2009). *Ingeniería de métodos, movimientos y tiempos*. ECOE EDICIONES.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2004, 15 de diciembre). *Decreto 400 de 2004*. Registro distrital.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2004, 16 de diciembre). *Decreto 312 de 2004*. Registro distrital.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2010). *Resolución 1457 de 2010*. Secretaria distrital.
- Alcaldía Mayor de Bogotá . (2022). *Información general del Sistema Transmilenio* . Bogotá : Bogotá.
- Alexis, P. S., & Javier, S. P. (2021). *Diseño de un prototipo de máquina de corte lineal para caucho mediante el proceso de reciclaje de neumáticos en Cantón la Maná* . Maná: Cotopaxi.
- Alonso, L. A. (2010). *Reciclado de neumáticos para la fabricación de láminas impermeabilizantes en la construcción*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Azogue, L. E., Yucailla, E. D., & López, R. F. (2017). *Trituración de neumáticos reciclados como desencadenantes en los procesos en la Provincia de Tungurahua*. Revista Publicando.
- Badenes, R. F. (2017). *La logística inversa: concepto y definición* . Valencia : Universidad de Valencia .
- Ballou, R. H. (2020). *Logística: administración de la cadena de suministro* (Quinta ed.). Ohio: Pearson.

- Borda, R., & Rodríguez, W. (2021). *Simulación 3D por computadora como estrategia metodológica en los procesos de enseñanza aprendizaje en el programa Ingeniería Industrial de la Universidad ECCI*. Bogotá: Universidad ECCI.
- C.W, L., J.F, H., & C, M. (2011). *Marketing* (Undecima ed.). Cengage Learnig .
- Calvo, H. B., & Amador, J. A. (2016). *Modelo de negocio para el reciclaje y aprovechamiento de llantas usadas en la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Universidad EAFIT.
- Camara de Comercio . (2009). *Guia para el manejo de llantas usadas* . Bogotá: Camara de Comercio .
- Campana, K., Galeas, S., & Guerrero, V. (2015). *Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores*. Quito: Revista Politécnica .
- Casto, G. (2008). Departamento de ingeniería mecánica .
- Congreso de Colombia . (1999, 15 de enero). *Ley 491 de 1999*. Constitución .
- Congreso de Colombia . (1999, 5 de agosto). *Ley 511 de 1999*. Constitución .
- Continental . (19 de Julio de 2022). *Continental* . Obtenido de Continental :
<https://www.continental-neumaticos.es/turismo/conocimientos-sobre-neumaticos/fundamentos-de-neumaticos/componentes-de-los-neum%C3%A1ticos>
- Corporación Autónoma Regional (CAR). (2018). *Dengue en Colombia* . Bogotá.

Díaz, P. A. (2008). *Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción* . Valdivia-Chile : Universidad Austral de Chile .

Firestone . (1 de Julio de 2022). El reciclaje de llantas es una gran solución ambiental. *Firestone* .

FlexSim. (4 de Agosto de 2022). *FlexSim* . Obtenido de FlexSim:
<https://www.flexsim.com/es/flexsim/>

Gómez, L. C., & Montoya, L. M. (2011). *Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos* . Medellin : Universidad de Medellin .

Google . (8 de Mayo de 2022). *Google Maps* . Obtenido de Google Maps :
<https://www.google.es/maps>

Helman, A., Luis, B., Shirley, C., Lucy, L., & Yessika, R. (2013). *Diseño de un proceso de recolección y tratamiento de llantas usadas en Bogotá* . Bogotá: FUP.

Hermida, E. M. (2016). *Proyecto de reciclaje de neumaticos usados para aportar a la proteccion del medio ambiente* . 2016: Universidad del Azuay.

Herrera, D. F. (2019). *Comportamiento del concreto fluido modificado con caucho reciclado de neumático de bicicleta* . Girardot : Universidad Piloto .

Maldonado, E. d., & Melo, F. (2020). *Analisis de sistema de recolección selectiva y de llantas usadas en el mundo* . Bogotá: UNAD .

Manuel, L. G. (2009). *Desarrollo de material plástico aditivado con caucho reciclado a partir de neumáticos usados para el desarrollo de perfiles de extrusión con propiedades añadidas* . Barcelona: BARCELONATECH.

Michelin . (2020). *Fabricación de neumáticos* . Paris .

Michelin. (5 de Agosto de 2022). *Michelin* . Obtenido de Michelin :
<https://www.michelin.com.co/auto/consejos-y-asesoria/consejos-automoviles/cuando-debo-cambiar-mis-llantas#:~:text=Diez%20a%C3%B1os%20es%20el%20lapso,de%20la%20banda%20de%20rodamiento.>

Ministerio de Ambiente . (2020). *Informe Ambiental 2020*. Bogotá: Observatorio Ambiental .

Ministerio de Ambiente . (2003, 06 de junio). *Decreto 1505 de 2003*. Ministerio de Ambiente.

Ministerio de Ambiente . (2021). *Guía de manejo ambiental del flujo de llantas en la industria minera*. Bogotá: MinAmbiente .

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible . (2017). *Resolución 1326*. Constitución .

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible . (2017). *Resolución No 1326*. Bogotá.

Mora, E., Martínez, E., & Velasco, J. (2018). *Simulación y validación del prototipo de un colector térmico solar hecho con neumáticos reciclados* . Pamplona : Universidad de Pamplona .

Moreno, J. (15 de Septiembre de 2022). Reciclaje: conozca los mitos mas comunes sobre este . *El Tiempo* .

OMS. (2018). *Informe Anual del Medio Ambiente* . ONU.

Organización de Naciones Unidas . (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible* .

Presidencia de Colombia . (1974, 18 de diciembre). *Decreto ley 2811 de 1974*. Constitución .

Quitiaquez, R. B. (2012). *La educación ambiental una estrategia que contribuye a la solución de la problemática ambiental en Colombia*. Coloquio Internacional de Geocritica 16.

Real Academia Española . (2022). *Neumático* . Madrid : RAE.

Rueda verde . (19 de Marzo de 2023). *Rueda verde* . Obtenido de Rueda verde:
<https://ruedaverde.com.co/>

Ruiz, K. L. (2010). *Planta de reciclaje de manejo especial con énfasis en los neumáticos* . Bogotá:
Universidad Javeriana .

Sampieri, R. H. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw Hill México.

Senado de la Republica . (1993, 22 de diciembre). *Ley general ambiental de Colombia* . Ministerio de Ambiente .

Senado de la republica . (2022). *Codigo nacional de transito* . Bogotá .

Senado de la republica de Colombia . (1974, 17 de enero). *Ley 23 de 1973*. Constitución Política .

Tapia, L. A. (2019). *Modelo de gestión de responsabilidad social organizacional en el reciclaje de neumáticos fuera de uso para las Fuerzas Armadas del Ecuador* . La Plata: Universidad Nacional de la Plata .

UnADM. (2020). *Balance de materia y energía* . Ciudad de Mexico : DCSBA.

Union Europea . (2019). *Importaciones y exportaciones de neumaticos* . España: Union Europea .

United States Environment Protection Agency . (2015). *Guía sobre aplicaciones de reciclaje y gestión de las lalntas de desecho en EE.UU. y Mexico* . EPA.

Yepes, U., Vásquez, G., & Correa, P. (2017). *Revisión efecto del sistema de vulcanización en la red entrecruzada y en la reacción química de vulcanización del caucho natural*. Medellín : Revista EIA .

Zarini, A. (2011). *Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso* . Buenos Aires : Instituto Tecnológico de Buenos Aires .

Zerma . (20 de Agosto de 2022). *Zerma* . Obtenido de Zerma : zerma-la.com

11. Anexos

Figura SEQ Figura * ARABIC 49

Anexo 1



Universidad ECCI

Encuesta realizada por estudiante Richard Carvajal de la universidad ECCI, del programa ingeniería industrial, con el propósito de recolectar información acerca del nivel de llantas producida por las principales servitecas y otras afines en la ciudad de Bogotá

Fecha _____
Encargado _____

1. ¿Cuánto tiempo lleva trabajando en el sector de las llantas?

2. ¿Qué tipo de vehículo es su principal cliente?
Moto Automovil Camionetas Camiones Otro, ¿Cuál? _____
3. En promedio ¿Al día cuantas llantas esta recibiendo?

4. En promedio ¿A la semana cuantas llantas esta recibiendo?

5. ¿Qué hace con las llantas que recibe?
Vende Regala Conserva Bota Otro, ¿Cuál? _____
6. ¿Estaría dispuesto a pagar por la recolección de llantas?
SI NO
7. ¿Estaría Dispuest a regalar las llantas?
SI NO
8. ¿Cuanto estaría dispuesto a pagar por cada una de las llantas?

9. ¿Que horario cree convenientete para la recolección de las llantas?
Mañana Tarde Noche
10. ¿Qué manejo cree usted que se le pede dar a las llantas, mas allá de solo artesanias?

Fuente: Construcción propia