



**Diseño y construcción de un prototipo de equipo recolector y transporte de  
residuos aprovechables para la cooperativa de recicladores de Galindo, Neiva  
(Huila).**

**James Smith Valderrama**

20451329873

**Sergio David Saavedra Manchola**

20451329728

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022



**Diseño y construcción de un prototipo de equipo recolector y transporte de residuos aprovechables para la cooperativa de recicladores de Galindo, Neiva (Huila).**

**James Smith Valderrama**

**Sergio David Saavedra Manchola**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Mecánico**

Director (a):

Ph. D, Ingeniero Karel Joel Arencibia Avila

Línea de Investigación:

Research in Energy and Materials REM.

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

2022



## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado **Diseño y construcción de un prototipo de equipo recolector y transporte de residuos aprovechables para la cooperativa de recicladores de Galindo, Neiva (Huila).**

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_.

---

Firma del Tutor

---

Firma Jurado

---

Firma Jurado

Neiva, 20 octubre 2022

# Contenido

Pág.

Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción .....	15
Capítulo 1: Planteamiento del problema .....	17
1.1 Formulación del problema.....	18
1.2 Justificación .....	18
1.3 Antecedentes .....	19
1.3.1. <i>Tecnologías actuales de recolección</i> .....	27
1.4 Objetivos .....	31
1.4.1. <i>General</i> .....	31
1.4.2. <i>Específico</i> .....	31
Capítulo 2: Marco referencial.....	32
1.5 Marco teórico.....	32
Capítulo 3: Diseño metodológico .....	34
3.1. Fases metodológicas .....	34
Capítulo 4: Análisis de resultados .....	37
4.1. Trabajo de campo.....	37
4.2. Caracterización de componentes de equipos actuales .....	40
4.3. Caracterización de requerimientos.....	41
4.4. Propuestas de diseño .....	44
4.4.1. <i>Propuesta 1</i> .....	46
4.4.2. <i>Prototipo 2</i> .....	46
4.4.3. <i>Prototipo 3</i> .....	47
4.5. Estudio morfológico para propuestas de solución.....	48
4.6. Selección y caracterización de la propuesta escogida. ....	49
4.7. Desarrollo del prototipo.....	52
4.8. Elementos para adquisición.....	55
4.9. Elementos de cálculo y diseño .....	55
4.9.1. <i>Cálculo de potencia</i> .....	55
4.9.2. <i>Cálculo de potencia para pendientes</i> .....	58

4.9.3. <i>Cálculo del par o torque generado</i> .....	59
4.9.4. <i>Relación de transmisión.</i> .....	62
<b>4.10. Análisis de elementos finitos-método Von Mises para chasis</b> .....	<b>65</b>
4.10.1. <i>Análisis de tensión del chasis</i> .....	66
4.10.2. <i>Análisis de desplazamiento máximo</i> .....	68
4.10.3. <i>Análisis de factor de seguridad</i> .....	69
<b>4.11. Ensamble y construcción</b> .....	<b>71</b>
4.11.1. <i>Corte y mecanizado de componentes para prototipo.</i> .....	71
4.11.2. <i>Ensamble del prototipo a escala.</i> .....	72
4.11.3. <i>Acabado del prototipo a escala.</i> .....	73
<b>Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	<b>74</b>
5.1. <b>Conclusiones</b> .....	74
5.2. <b>Recomendaciones</b> .....	75
<b>Anexos</b> .....	<b>72</b>
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>79</b>

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1.</b> Equipo recolector de tracción animal.....	19
<b>Figura 1-2.</b> Primeros equipos recolectores a gran escala por tracción mecánica .....	20
<b>Figura 1-3.</b> Recolectores a hidráulicos, neumáticos, automatización (MIKROPAK).....	21
<b>Figura 1-4.</b> Evolución del reciclaje en Colombia .....	22
<b>Figura 1-5.</b> Prototipo vehículo para recolección tipo rectangular .....	24
<b>Figura 1-6.</b> Prototipo de vehículo recolector de residuos .....	25
<b>Figura 1-7.</b> Prototipo clasificador de material .....	26
<b>Figura 1-8.</b> Cuadro de tecnologías de recolección de residuos sólidos .....	27
<b>Figura 1-9.</b> Geometría de vehículos tipo carreta para recolección de residuos .....	29
<b>Figura 4-1.</b> Prototipo tipo triciclo con tres puntos de apoyo .....	46
<b>Figura 4-2.</b> Propuesta vehículo recolector residuos.....	47
<b>Figura 4-3.</b> Propuesta 3.....	48
<b>Figura 4-4.</b> Componentes del prototipo desarrollado .....	54
<b>Figura 4-5.</b> Entrada de parámetros para cálculo de potencia del vehículo .....	56
<b>Figura 4-6.</b> Especificación técnica de llantas usadas en prototipo para cálculo de fuerza tangencial .....	60
<b>Figura 4-7.</b> transmisión hipoidal .....	62
<b>Figura 4-8.</b> Proveedor de kit eléctrico y de transmisión .....	64
<b>Figura 4-9.</b> Distribución de cargas para estudio de esfuerzo máximo.....	67
<b>Figura 4-10.</b> Comportamiento chasis al someterlo a máxima tensión .....	67
<b>Figura 4-11.</b> Análisis se desplazamiento del chasis.....	69
<b>Figura 4-12.</b> Análisis de factor de seguridad .....	70
<b>Figura 4-13.</b> Corte y mecanizado Equipo .....	71
<b>Figura 4-14.</b> Proceso ensamble.....	72
<b>Figura 4-15.</b> Integración componentes .....	73



## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 4-1.</b> Caracterización equipos actuales zona oriente de la ciudad de Neiva. ....	38
<b>Tabla 4-2.</b> Caracterización equipos zona sur- este de la ciudad de Neiva .....	38
<b>Tabla 4-3.</b> Caracterización equipos zona sur de la ciudad de Neiva.....	39
<b>Tabla 4-4.</b> Matriz de caracterización componentes de vehículos para recolección de residuos reciclables. ....	40
<b>Tabla 4-5.</b> Relación y descripción de requerimientos.....	41
<b>Tabla 4-6.</b> Categorización requerimientos y pesos para selección de prototipos .....	42
<b>Tabla 4-7.</b> Caracterización de propuestas de solución.....	45
<b>Tabla 4-8.</b> Matriz de evaluación propuestas .....	48
<b>Tabla 4-9.</b> Matriz de evaluación final a partir de factores establecidos.....	50
<b>Tabla 4-10.</b> Coeficiente de rozamientos a la rodadura según el tipo de suelo .....	57
<b>Tabla 4-11.</b> Tabla coeficiente de fricción .....	58
<b>Tabla 4-12.</b> Características de material de plástico.....	65

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$A$	Área	$m^2$	$\pi r^2$
$F$	Fuerza	$Kg/ms^2$	m.a
$K$	Constante del resorte	NA	NA
$M$	Momento	V/min	n/t
$C$	Índice resorte	NA	NA

### Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\eta$	Factor de seguridad	UL	
$\sigma$	Esfuerzo Normal	Pa	
$\tau$	Esfuerzo cortante	N.m	
$K_s$	Factor de servicio	UL	

### Subíndices

$f_s$	Factor de seguridad
$\sigma$	Esfuerzo del material
$T_1$	Torque
$i$	Relación de transmisión
$M_e$	Momento equivalente

### Superíndices

#### Superíndice Término

$n$	Exponente, potencia
-----	---------------------

## Abreviaturas

### Abreviatura Término

---

<i>mm</i>	milímetros
<i>Kg</i>	Kilogramos
<i>m</i>	metros

*(Dedicatoria)*

*A Dios por ser nuestro protector y guía en este  
proceso, a nuestros padres por su apoyo y  
amor incondicional.*

***Sergio David Saavedra Manchola***

***James Valderrama***

## **Agradecimientos**

Como primera medida a nuestro tutor el ing. Karel Joel Arencibia Avila, por su paciencia y dedicación en la consecución de cada elemento del proyecto, por su gran conocimiento el cual compartió a lo largo de este estudio; a los profesores que en el transcurso de la carrera nos guiaron y nos entregaron lo mejor de sus competencias, a la Universidad Antonio Nariño por recibirnos y hacernos partes de su alma mater.



## Resumen

Actualmente se reciclan 30 Kg en promedio de material recuperable como papel, cartón, plástico, vidrio, lo cual es baja frente a lo proyectado de 80 Kg, esto obedece a la poca capacidad de almacenamiento de los vehículos empleados en la actualidad por los recicladores de la Cooperativa de Galindo lo que obliga a realizar más recorridos para cumplir con ese promedio mínimo. La cooperativa de acuerdo con su plan de crecimiento a partir de la alta demanda de material urbano en la ciudad busca para el 2023 aumentar la capacidad de material recuperado pasando al valor proyectado, lo que implica una mayor oferta de material para los proveedores nacionales y por ende una mayor ganancia para sus socios; por lo que para solucionar esta situación se propone diseñar y construir un prototipo de equipo recolector y transporte de residuos aprovechables.

Para su desarrollo, se establecieron 4 objetivos, los cuales son: 1-Definir los criterios de diseño teniendo en cuenta la capacidad de carga, peso del equipo y relación de transmisión de movimiento, 2-calcular y seleccionar los mecanismos y materiales del prototipo en base a datos recolectados, 3-simular en el Software Autodesk Inventor versión 2021, 4-construir el prototipo, los resultados muestran un equipo recolector con capacidad para 80 Kg, con un monochasis moldeado en material plástico recuperado de alta densidad.

La metodología empleada para su desarrollo comprende el método de French (2014), la cual se basa en fases las cuales son:1-Criterios de diseño, 2-Diseño de prototipo y selección, 3-Simulación mediante método Von Mises en el software Autodesk inventory versión 2022 y construcción del prototipo.

Como resultado se logra el diseño y construcción de un prototipo de equipo recolector y transporte de residuos aprovechables para la cooperativa de recicladores de Galindo, Neiva (Huila).

Palabras claves: Residuos, Sistema de transmisión, carga máxima, altura máxima, esfuerzos.

## Abstract

Currently, an average of 30 kg of recoverable material such as paper, cardboard, plastic, and glass is recycled, which is low compared to the projected 80 kg. This is due to the low storage capacity of the vehicles currently used by the recyclers of the Galindo Cooperative, which forces them to make more trips to meet this minimum average; The cooperative, according to its growth plan based on the high demand for urban material in the city, seeks to increase the capacity of recovered material to the projected value by 2023, which implies a greater supply of material for national suppliers and therefore a greater profit for its members; therefore, to solve this situation, it is proposed to design and build a prototype of collection and transportation equipment for recyclable waste.

For its development 4 objectives were established, which are: 1-Define the design criteria taking into account the load capacity, weight of the equipment and motion transmission ratio, 2-calculate and select the mechanisms and materials of the prototype based on data collected, 3-simulate in Autodesk Inventor Software version 2021, 4-construct the prototype, the results show a collecting equipment with a capacity of 80 kg, with a monochassis molded in high density recovered plastic material.

The methodology used for its development comprises the method of French (2014), which is based on phases which are: 1-Design criteria, 2-Prototype design and selection, 3-Simulation and construction of the prototype.

As a result, the design and construction of a prototype of a waste collection and transportation equipment for the recyclers' cooperative of Galindo, Neiva (Huila) was achieved.

Key words: Waste, Transmission system, maximum load, maximum height, stresses.



## Introducción

Los patrones de consumo global muestran que el volumen de residuos generados de tipo urbano/anual superan los 1,4 billones de toneladas, una media de 1,2 kg/persona al día; más de la mitad se estos residuos se concentran en los treinta países de mayor economía (15%) (ONU, 2019). Para el Banco Mundial y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), existe una tendencia exponencial en dicho volumen de residuos debida a la falta de medidas de control, contención y mitigación en cuanto a la demanda actual (Castro, 2021); a lo que se suma la implementación de políticas de aprovechamiento y manejo, las cuales presentan unas tasas de aprovechamiento que oscilan entre un 0 y 16 (World Bank, 2021) (Naciones Unidas de Colombia, 2018).

A nivel Nacional, se estima que la generación de residuos sólidos es de 31.000 Ton/día de las cuales se podrían aprovechar el 85%, sin embargo, de acuerdo con el estudio nacional del reciclaje, se encontró que solo se aprovechan 5.1 Ton/día, equivalentes a un 16,5%, siendo uno de los países con mayor generación en Latinoamérica y con un alto potencial de aprovechamiento de residuos para recuperar (ACODAL, 2020).

A nivel local, los encargados de realizar este proceso de recuperación se conocen como recuperadores o recicladores los cuales trabajan de forma independiente u organizada mediante tareas diarias de recolección, las cuales realizan en diferentes ventanas horarias en toda el area geográfica urbana de la ciudad de Neiva (Alcaldía de Neiva, 2016); para esta actividad de recolección emplean medios y equipos limitados de recolección como estopas, carretas en pésimas condiciones de mantenimiento y con pesos mayores a 150 Kg que

manipulan mediante arrastre manual, o en su defecto ciclas y vehículos de tracción animal adaptadas para la recolección (Superservicios, 2018).

El documento presentado a continuación se compone de 5 capítulos los cuales parten del planteamiento del problema, justificación, antecedentes y objetivos, el capítulo 2 refiere el marco referencial, seguidamente el capítulo 3 corresponde al diseño metodológico, el capítulo 4 corresponde al análisis de resultados y finalmente el capítulo 5 el cual contiene las conclusiones y recomendaciones.

## Capítulo 1: Planteamiento del problema

El problema abordado se sitúa en la ciudad de Neiva (Huila), la cual genera en promedio 420 Ton/mes las cuales son recolectadas, transportadas y dispuestas finalmente en el Relleno Sanitario de los Ángeles (Alcaldía de Neiva, 2022).

Y es específicamente en la cooperativa de recicladores de Galindo, la cual se compone de 45 recuperadores los cuales recogen en promedio 30 kg/día de material recuperable entre cartón plástico y vidrio en un horario de trabajo que va de 5 am hasta 5 pm (12 H), la cual al final del día llevan al centro de acopio para su embalaje y venta; la baja productividad obedece a que este proceso lo realizan a partir de múltiples equipos para recolección de residuos recuperables los cuales van desde estopas, carretas, ciclas adaptadas que tiene una capacidad máxima promedio de 30 Kg, obligando a realizar más recorridos para cumplir con ese promedio mínimo; la cooperativa de acuerdo a su plan de crecimiento a partir de la alta demanda de material urbano en la ciudad busca para el 2023 aumentar la capacidad de material recuperado pasando a un promedio día de 80 Kg/día lo que implica una mayor oferta de material para los proveedores nacionales y por ende una mayor ganancia para sus socios.

Sin embargo, como se mencionó la capacidad actual de recolección es poca y variable dentro de los recuperadores, a esto se suman que algunos de los equipos actuales se encuentran el mal estado, requieren de tracción humana, lo que implica largas jornadas de trabajo, esfuerzos adicionales que conllevan a riesgos biomecánicos

Las tecnologías actuales disponibles van desde equipos eléctricos que requieren zonas de recarga lo cual no existe en la ciudad de Neiva, y los diseñados por tracción mecánica como vehículos de recolección pequeñas cuestan en promedio \$ 6 a 25 millones

de COP, lo que resulta fuera del alcance para su adquisición por parte de estos recuperadores, ya que en su mayoría son personas de escasos recursos.

### **1.1 Formulación del problema.**

De acuerdo con lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación.

¿Cómo mejorar la productividad en función de la cantidad de material recuperado para alcanzar la meta fijada de 80 Kg/día por la cooperativa al 2023?

### **1.2 Justificación**

La generación de residuos es uno de los más grandes problemas medioambientales, la contaminación del medio ambiente constituye una de las dificultades más críticas en el mundo y es debido a esto que surge la necesidad de buscar diferentes alternativas para su solución como el proceso de recuperación y aprovechamiento.

El mejorar la productividad en la recolección de material reciclado permite aumentar la venta de este en el mercado nacional y por ende mejorar las condiciones económicas de los recuperadores.

Mejorar las condiciones de trabajo de los recuperadores, garantiza un mejor desempeño a nivel de productividad, ya que al aumentar la capacidad de carga se reducen los dobles recorridos y las horas de trabajo adicionales por parte de los recuperadores (Bustos, 2009).

La integración del conocimiento en los procesos de generación de soluciones a nivel de ingeniería es fundamental para la creación de valor, de aquí que esta propuesta se convierta en una oportunidad para aportar este en la mejora de la productividad y otros

factores secundarios dados en la actividad de recolección y transporte de residuos reciclables (Tiarradentro, 2017).

La conveniencia del proyecto se fundamenta bajo el hecho de que la generación de residuos es uno de los más grandes problemas medio ambientales, la contaminación del medio ambiente constituye una de las dificultades más críticas en el mundo y es debido a esto que surge la necesidad de buscar diferentes alternativas para su solución como el proceso de recuperación y aprovechamiento.

El mejorar la productividad en la recolección de material reciclado permite aumentar la venta de este en el mercado nacional y por ende mejorar las condiciones económicas de los recuperadores.

### 1.3 Antecedentes

La evolución de los equipos recolectores de residuos se dio en dos dimensiones, una basada en equipos de gran capacidad los cuales por los años 50´ disponian de tecnologías de tracción animal como se indica en la figura 1-1.

**Figura 1-1.** Equipo recolector de tracción animal.



Nota, la figura 1-1 muestra un vehículo recolector de tracción animal con dos bases de acople, bodega de almacenamiento en acero inoxidable; tomado y adaptado de (SL Equipos, 2021).

Estos primeros avances se desarrollaron con el fin de poder centralizar el proceso de recolección y sus primeras aplicaciones se dieron Europa y Estados Unidos; dentro de sus características se tenían su capacidad limitada de almacenamiento, estructuras pesadas y con alta oxidación; a partir de la potencialización de los desarrollos de los motores, este tipo de vehículos quedaron relegados y pasaron de operar por tracción animal a mecánica; es así como entonces en los años 60' del presente siglo, se pusieron en operación los primeros vehículos de recolección con sistema de carga trasera y con una mayor capacidad de almacenamiento lo que dio paso a mayores frecuencias de aseo, recolección y productividad para los grandes recolectores de residuos generados en las urbes urbanas, como se indica en la figura 1-2.

**Figura 1-2.** Primeros equipos recolectores a gran escala por tracción mecánica



Nota. La figura 1-2 muestra uno de los primeros vehículos recolectores de tracción mecánica con sistema de almacenamiento trasero; tomado de (SL Equipos, 2021).

A partir de lo anterior la evolución tecnológica de estos se ha focalizado en aumentar la capacidad de transporte, automatizar el proceso de recogida, descarga y almacenamiento y seguridad de las operaciones empleando para ello sistemas hidráulicos, neumáticos, servomotores todo ello integrado en automatización industrial en transporte como se indica en la figura 1-3 presentada a continuación.

**Figura 1-3.** Recolectores a hidráulicos, neumáticos, automatización (MIKROPAK).



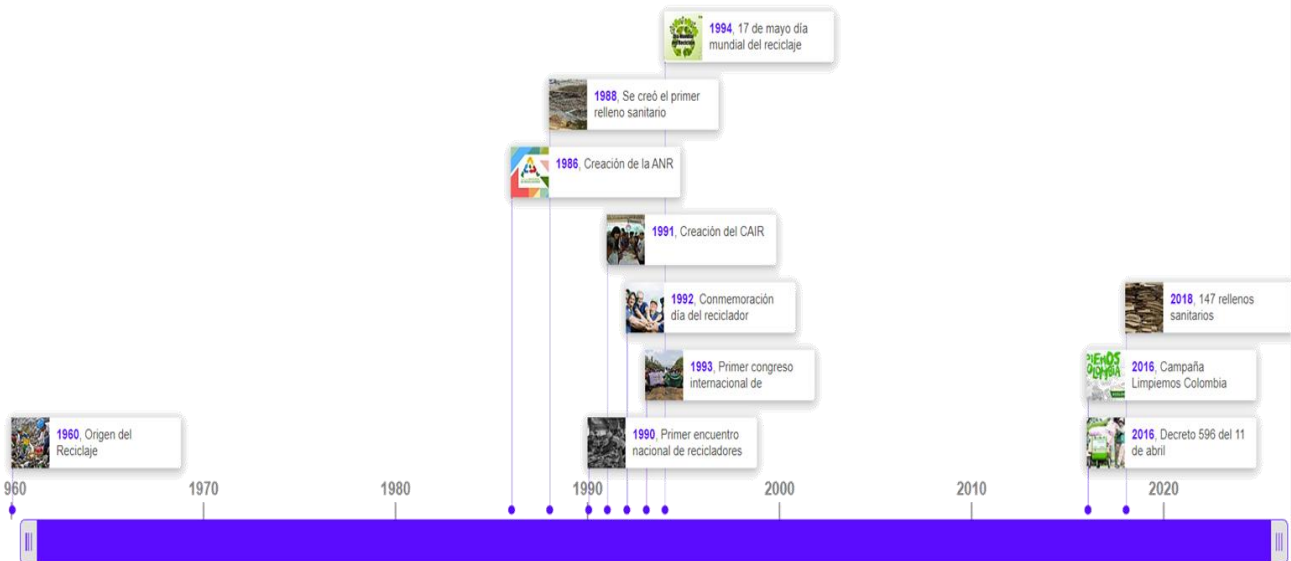
Nota. La figura 1-3, presenta 4 diseños de vehículos recolectores los cuales tienen aplicación actualmente; tomado de (Transpakk, 2022).

La otra dimensión y la cual es el foco del estudio, corresponde a los pequeños recolectores (recicladores), quienes aún emplean tecnologías por tracción manual y animal que datan de los años 50' del presente siglo, muy común en la región latinoamericana y en especial en países subdesarrollados de media y extrema pobreza.

Ahora bien, los recicladores como población activa existen hace más de 60' años, según el investigador Parra (2022), básicamente surgieron de la emigración forzada, como consecuencia de la extrema situación de violencia que se vive en zonas rurales del país; en la línea de tiempo de la figura 1-4 se presentada una breve evolución de los recicladores en

Colombia, lo que permite enmarcar a su vez la evolución de los sistemas de transporte empleados para la recolección de los residuos (Parra, 2022).

**Figura 1-4.** Evolución del reciclaje en Colombia



Nota. La figura 1-4 corresponde a la línea de tiempo comprendida entre los años 1960 y 2020, en la cual se registran los hechos más relevantes de la evolución del proceso de reciclaje en Colombia; tomado de (Timetoast.com, 2022).

En los periodos comprendidos entre los 60' y los 80' surge un movimiento de recicladores los cuales desarrollan la tarea de separación, segregación y aprovechamiento de residuos generados en la ciudad, esta situación se convirtió en una opción de trabajo focalizado, aquí los sistemas empleados para el proceso corresponden a bolsas contenedoras (Estopa), vehículo de tracción animal o carretas los cuales al 2022 siguen siendo demandados por poblaciones de recicladores compuestos por indigentes o recicladores independientes, caso contrario sucede en recicladores organizados (Cooperativas, empresas) cuyas tecnologías de recolección han evolucionado.



Las primeros equipamientos corresponden al uso de bolsas o estopas contenedoras, sin embargo con la creación de Asociación Nacional de Recicladores (ANR) en 1986, se empezaron a usar carretas con rodamientos impulsadas de forma manual, durante los últimos tiempos se han presentado variaciones en la estructura, pasando al uso del hierro para poder soportar mayores cargas y en los sistemas de transmisión para lo cual se han adaptado ruedas de motos o carros con sistema de suspensión, pero impulsadas de forma manual; a partir del año 2000 se desarrollan las primeras bici carretas las cuales son una adaptación que reemplazo el sistema manual por mecánico y que hoy está implementando tecnologías limpias como celdas eléctricas para su transporte.

Durante los últimos 20 años en materia de tecnologías de transporte de residuos la evolución ha sido limitada, pues a hoy se ven en el proceso carretas, carretillas, bici carretas, zorras y estopas; solo en aquellas cooperativas se identifican bicitaxis, o moto cargueros.

Según lo anterior existen avances a nivel académico, los cuales han propuesto diseños y desarrollos enfocados a optimizar el proceso de recolección de residuos por parte de los recicladores; algunas de estas investigaciones plantean o presentan los siguientes resultados.

Palacio et al (2017), diseñaron un prototipo de vehículo para recolección de papel y plástico en la ciudad de Medellín el cual como alternativa para mejorar la capacidad de recolección de material al pasar de 70 kg a 115, el prototipo diseñado es un contenedor de forma rectangular en acero inoxidable el cual descansa sobre un soporte al cual van acoplados 4 ruedas cuyo máxima carga soportada es de 150 Kg, el prototipo tuvo un costo de \$7 millones COP y requiere de dos recuperadores para su desplazamiento lo cual es una

desventaja, sin embargo dentro de las desventajas presentadas por este, indican su peso y el método de movilización empleado el cual usa rodamientos que requieren de constante engrase, ya que de no realizarse estos se endurecen por efecto de acumulación de material particulado, factor complejo en la solución dada su alta demanda de uso y por ende una mayor mano de obra en este prototipo, el cual se presenta en la figura 1-5 (Palacio, 2017).

**Figura 1-5.** Prototipo vehículo para recolección tipo rectangular



Nota. La figura 1-5 describe un prototipo recolector de residuos de estructura rectangular en acero inoxidable; tomado de (Palacio, 2017).

Otro de los estudios lo realizó la universidad EAFIT (2021) en cooperación con la empresa Postobón S.A. diseñaron con un grupo de estudiantes de ingeniería mecánica el proyecto Kratos, el cual es un vehículo prototipo desarrollado para el proceso de reciclaje alcanza una velocidad promedio de 8 km/h, y tiene la posibilidad de recorrer 35 km diarios, dependiendo de las condiciones del terreno. Por su versatilidad, este prototipo podrá llegar hasta sectores escarpados y calles angostas, y permitirá cargar hasta 120 Kg de material reciclable como se indica a continuación; sin embargo, dentro de sus limitantes se encuentra su costo de adquisición el cual es mayor a los 6 millones de COP, el mantenimiento

especializado el cual puede en su gran mayoría no estar al alcance económicamente y por su frecuencia de uso al momento de requerirlo (EAFIT, 2021).

**Figura 1-6.** Prototipo de vehículo recolector de residuos



Nota. La figura 1-6 muestra un prototipo de equipo recolector que emplea un sistema de transmisión alimentado por un motor de 0,5 Hp; tomado de (EAFIT, 2021).

Al igual que Bustamante & Molina (2014) los cuales desarrollaron un prototipo de vehículo recolector de residuos, el cual es accionado por un sistema de pedal empleando una relación de transmisión de plato 32 y piñón 10V, para garantizar un fácil desplazamiento en terrenos planos, el diseño tiene un peso de 75 Kg lo cual es un limitante ya que reduce la capacidad de carga de este; dentro de sus desventajas se encuentran que este tipo de sistemas no permiten una clasificación en el proceso de recolección lo que obliga a reclasificar terminada la tarea; otro aspecto relevante es que se requiere de una potencia superior al peso del reciclador, el peso del equipo y de la carga, lo que obliga al mismo a realizar un gran esfuerzo que puede terminar afectándola salud del operador a nivel muscular (Bustamante, 2014).

**Figura 1-7.** Prototipo clasificador de material



Nota. La figura 1-7 muestra un prototipo mecánico de equipo recolector de residuos el cual basa su diseño en un sistema de tracción piñón-cadena de tipo manual; tomada de (Bustamante, 2014).

De acuerdo con las anteriores propuestas de investigación desarrolladas las cuales responden a necesidades particulares del contexto de trabajo de los recicladores el principio base empleado para mejorar las condiciones de desplazamiento se basa en la transmisión de potencia por tracción manual o mecánica; sin embargo, el enfoque permite movilidad sin contemplar la capacidad de carga.

A lo anterior se suma que los prototipos analizados no solucionan las problemáticas de fondo relacionadas con capacidad de carga, mantenimientos simples, peso de equipos, movilidad y bajo costo para su adquisición, razón por la cual el uso de equipos por tracción animal, bolsas o costales, así como de carretas metálicas o de madera de dos ruedas alquiladas o en pésimas condiciones de operación sigue siendo la tendencia de uso en muchas partes del territorio nacional.

### 1.3.1. Tecnologías actuales de recolección

Dentro de las tecnologías actuales de recolección se pueden clasificar entres tipos como se observa en la figura 1-8; la primera se relaciona a la recolección manual en donde los recicladores recolectan y transportan sobre sus hombros un recipiente contenedor como los es la lona o estopa; este tipo de método es frecuentemente usado por personal informal o recicladores no asociados, dentro de sus desventajas principales están los riesgos de tipo ergonómico que se derivan de la fuerza continua que debe realizar el operador durante la actividad, no permite una separación eficaz de materiales y su capacidad de almacenamiento es muy limitada lo que hace que la productividad sea mínima.

**Figura 1-8.** Cuadro de tecnologías de recolección de residuos sólidos



Nota. La figura 1-8 presenta la relación de tecnologías actuales usadas en el proceso de recolección de residuos; tomada y adaptada de (Hernández, 2020)

La segunda tecnología corresponde al uso de vehículos adaptados que emplean desde balineras como ruedas, carretas de dos ruedas o tres ruedas las cuales son impulsadas por tracción humana mediante principio de palancas de segundo grado en donde la resistencia esta entre el punto de apoyo y la fuerza; dentro de las desventajas se tienen el riesgo de problemas de salud a causa de exposición continua a fuerzas que pueden ser superiores a las normalmente soportadas por parte del operador, la mayoría de sus componentes son rígidos y pesados lo que aumenta la carga soportada, una alta deficiencia de mantenimiento, son relativamente económicos (menos de \$1 millón COP), pero su capacidad de carga es limitada.

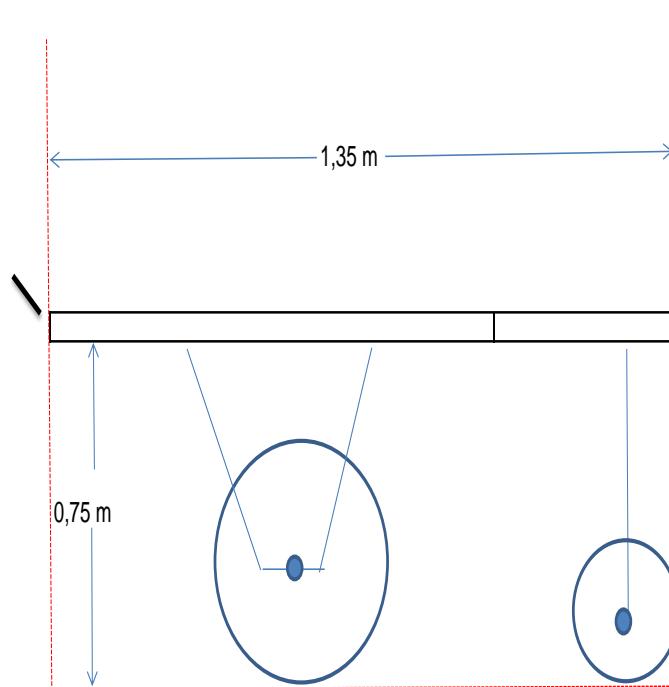
La tercera tecnología se asocia a equipos eléctricos, contenedores móviles o bici recolectores en donde se mejora la movilidad y aunque emplean transmisión mecánica en una relación piñón-cadena para duplicar la potencia manual, o celdas eléctricas pero su capacidad de carga es limitada, lo cual constituye una desventaja asociada a la no disponibilidad de mecánica de asistencia en las áreas en donde se realiza el proceso de recolección.

En lo que respecta a la geometría de estas se tienen con respecto a las carretas las cuales son las de mayor uso en la ciudad de Neiva, aspectos como su fácil posibilidad de arriendo, compra, así como la consecución de repuestos los cuales son de alta comercialización en el mercado, lo que facilita su reparación, cambio y adaptación de otras necesidades asociadas a capacidad, diseño, estéticas requeridas por el propietario para comodidad; es importante resaltar que este tipo de equipos en su mayoría tienen una altura promedio de 0,75 cm y un largo incluyendo los brazos de apoyo para tracción de 1,35 cm como se muestra a continuación en la figura 1-9.

**Figura 1-9.** Geometría de vehículos tipo carreta para recolección de residuos



Carreta 3 ruedas  
 Peso: 12, 5 kilos  
 Dimensiones 1,35x 0,80 x 0,75



Nota. La figura 1-9 muestra las medidas de una carreta de alta demanda de uso en la ciudad de Neiva; elaboración a partir de trabajo de campo, elaboración propia.

De lo anterior se indica que este tipo de vehículos emplea tres ruedas con ejes independientes, de las cuales dos corresponden a ruedas de moto, el chasis es metálico cuyo soporte inferior es de tubo galvanizado al cual se acopla mediante soldadura una estructura en lamina sobre la que se apoya la base en madera.

Con respecto a lo descrito anteriormente la tabla 1-1 presenta las principales ventajas y desventajas, las cuales sirven como base para realizar una descripción de los aspectos a trabajar en el diseño de la propuesta en la presente investigación.

**Tabla 1-1.** Pro y contras de las tendencias de equipos de recolección de residuos usados actualmente.

Ventajas	Desventajas
Comercialmente de bajo costo en cuanto a equipos de tracción manual.	Costos elevados en equipos de tracción mecánica (Mayores a 6 millones de COP). Diseño emplea rodamientos o ruedas macizas para su desplazamiento, obligan a generar una mayor potencia que afecta la salud del operador.
Se componen de elementos comerciales de fácil consecución.	Equipos en pésimas condiciones de operación. capacidades de carga limitadas (Menores o iguales a 30 Kg).
No requieren de mecánica de mantenimiento especializada.	Chasis metálicos que agregan peso al equipo. los elementos principales que permiten el movimiento no cuentan con protección. Se requiere de gran potencia para su desplazamiento.
Fácil operación	Requieren de una alta frecuencia de engrasado en elementos móviles debido a su exposición continua. El sistema de almacenamiento de residuos recolectados no permite la clasificación inmediata del material

Nota. La tabla 1-1 muestra los elementos de valor que poseen los equipos actuales empelados en la recolección y transporte de material de residuos sólidos por parte de los recicladores; adaptada de caracterización estado actual y antecedentes.

En la totalidad de las tecnologías actuales, el sistema de operación es de tracción humana mediante principios de palanca de segundo género en donde el punto de apoyo se ubica en el eje de la rueda, la potencia se aplica en los brazos por donde se sujeta y la resistencia está en el contenedor en donde se coloca la carga.

En el caso de los equipos recolectores actuales en los que se destacan las carretillas eléctricas, están presentan un alto costo de adquisición mayores a los \$4 millones COP, con un tiempo de servicio no mayor a 2 horas, lo que implica una disponibilidad de fuente para su recarga, lo cual es limitado en la ciudad; por otro lado los contenedores móviles tiene un valor que oscila entre los \$3,5 y \$ 4 millones COP y son fijos lo cuales requieren de puntos de disposición aumentando los costos para su recolección ya que obliga a adquirir equipos adicionales para su transporte.



De acuerdo con lo descrito anteriormente, el proyecto se concentrará en mejorar la condición de segregación de materiales para su venta, es decir una separación del material, aumentar la capacidad de carga a un máximo de 80 Kg, disminuir el peso del equipo empleando para ello un chasis termoformado en plástico recuperado, extrusado y fundido de alta densidad, en un sistema de transmisión de potencia que garantice la movilidad del vehículo sin requerir de tracción adicional, lo cual contribuye con la salud de los mismos.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1. General***

Diseñar y construir un prototipo de equipo recolector y de transporte de residuos aprovechables para la cooperativa de recicladores de Galindo, Neiva (Huila).

### ***1.4.2. Especifico***

- Definir los criterios de diseño teniendo en cuenta la capacidad de carga, peso del equipo y relación de transmisión de movimiento.
- Calcular y seleccionar los mecanismos y materiales del prototipo en base a datos recolectados.
- Simular en el Software Autodesk Inventor versión 2021, el comportamiento de equipo recolector y de transporte a nivel estructural cuando se somete a esfuerzos máximos.
- Construir un prototipo a escala de equipo recolector y de transporte para los recuperadores de la cooperativa de recicladores de Galindo en la ciudad de Neiva.

## Capítulo 2: Marco referencial

El capítulo presentado a continuación muestra aspectos característicos asociados al marco teórico, conceptual.

### 1.5 Marco teórico

**Residuos sólidos:** Los residuos sólidos se definen como todos aquellos materiales en estado sólido o semisólido que han sido desechados tras su vida útil procedentes de la fabricación, transformación o utilización como bienes de consumo.

**Manejo de residuos sólidos:** comprende las siguientes etapas:

**Recolección:** Refiere a las actividades asociadas al proceso de alistamiento, selección y recolección de residuos sólidos, en este punto a medida que se realiza la clasificación, el material es depositado en el área de almacenamiento para su transporte.

**Transporte:** El transporte corresponde a la movilización del material reciclado al punto de recibo para su comercialización.

**Disposición Final:** Corresponde al área destinada para su distribución y almacenamiento temporal de los residuos sólidos.

A nivel de equipos se tienen los siguientes componentes:

Chasis, el cual corresponde a la estructura sobre la cual se acoplan todos los elementos tanto mecánicos como de diseño, este puede ser de tipo monochasis o armado por secciones; motor eléctrico; el cual es muy necesario en zonas de . A nivel de simulación se emplea el programa de análisis FEM, Autodesk Inventor, el cual es un programa para diseño mecánico avanzado en 3D, con modelado paramétrico, directo y

libre, tiene una capacidad base para realizar diseño de piezas, sus dibujos y ensambles de partes.

Inventor ofrece simulación por elementos finitos, sistemas de movimientos y administración de datos; también es posible someter el diseño a una validación virtual variando sus parámetros, analizando su resistencia, desde la optimización de su forma hasta la preparación de moldes.

### Capítulo 3: Diseño metodológico

El método de estudio incluye una investigación de tipo exploratoria descriptiva, ya que se busca entender el problema específico del proceso, y a partir de ello plantear una solución que considere los aspectos específicos (Blanco R, 2018); la metodología que más se aproxima a la generación de la solución es la de diseño de French (2000), la cual se basa en actividades, a partir de las fases principales de un proyecto como se indica a continuación (Peres, 2003).

#### 3.1.Fases metodológicas

Las actividades que comprenden la metodología comprenden:

Fase 1 – Criterios de diseño

Busca determinar las características del proceso de recuperación en función de:

- Capacidad de carga actual y esperada.
- Peso equipos actuales de recolección.
- Revisión bibliográfica de artículos científicos de diseño de máquinas, tesis de diseño de máquinas y/o equipos para recolección y transporte.
- Caracterización tecnológica de equipos de recolección de residuos.
- Identificación de componentes de equipos de recolección.
- Identificación de requerimientos de diseño.

Fase 2 – Diseño de prototipo a escala y selección

- Proponer alternativas de funcionamiento.

- Análisis mediante ponderación de ventajas y desventajas de prototipos a partir de la construcción de una matriz morfológica.
- Estandarización de criterios: Consolidación de datos en un cuadro o ficha técnica de requerimientos en hoja de Excel así como la realización de Bosquejos, definición de la alternativa escogida, mediante método de ponderación según criterios de calidad del diseño (capacidad, mantenimiento, costo, seguridad).
- Identificación de variables (capacidad de carga, esfuerzo máximo, desplazamiento máximo, confiabilidad de diseño), el diseño al detalle del prototipo, el análisis estático (método Von Mises) y la elaboración de planos mediante el uso del software Autodesk inventor (Versión 2021).
- Selección de prototipo a partir de análisis morfológico.
- Desarrollo del concepto seleccionado.

### Fase 3 – Simulación

- Comprende el diseño detallado que parte del chasis y los elementos de transmisión entre otros.
- Simulaciones estáticas de la estructura y se evaluarán componentes críticos a partir de variables como máximo esfuerzo, desplazamiento y factor de seguridad. Finalmente se elaborarán los planos para su posterior fabricación y ensamble.

### Fase 4- Construcción del prototipo a escala.

Esta fase comprende la compra de materiales. El mecanizado de piezas y el ensamble del prototipo. Comprende el diseño y construcción de un prototipo de un equipo

recolector y de transporte de residuos aprovechables para la cooperativa de recicladores de Galindo, Neiva (Huila).

## **Capítulo 4: Análisis de resultados**

Este capítulo contiene el análisis y dimensionamiento de la problemática y sus posibles soluciones partiendo de la caracterización mecánica de los vehículos empleados actualmente en la ciudad de Neiva, así como la identificación de requerimientos análisis morfológico y selección de la alternativa, todo ello a partir del trabajo de campo realizado en la ciudad.




### **4.1.Trabajo de campo**

El trabajo de campo realizado con el objetivo de poder identificar y analizar las condiciones de operación de los recicladores tanto formales como informales en la ciudad de Neiva; el proceso se inició a partir de los ciclos de recolección en la ciudad los cuales comprenden lunes, miércoles y viernes; a partir de ello se realizó una entrevista con cada uno de ellos con el fin de identificar parámetros como capacidad de carga, problemas de clasificación, horas de trabajo peso del equipo entre otras variables como se indica en las tabas presentadas a continuación.

Las zonas visitadas para recoger la información comprendieron los barrios Encenillo y zona industrial (zona sur), Calixto y el Jardín (oriente), zona centro de la ciudad por la carrera segunda y avenida circunvalar hasta la calle 21; a partir de este mapeo el proceso de observación y de entrevista se realizó de forma aleatoria contando previamente con el aval del reciclador en operación.

Para efectos de organización de la información esta se registró mediante matrices de caracterización las cuales se presentan en las tablas 4-1, 4-2 y 4-3 a continuación.


**Tabla 4-1.** Caracterización equipos actuales zona oriente de la ciudad de Neiva.

Ítem	Tipo vehículo	Principio de movilidad	Diseño	Capacidad estimada de carga (Kg)	Peso estimado del equipo (55)	Descripción mecánica
1	Carreta recolectora 2 ruedas	Tracción Manual		45	55	Carreta con dos ruedas rin 14, con eje y hojas suspensión adaptadas a chasis de madera
2	Cicla recolectora	Tracción manual		10	12	Cicla con relación piñón-cadena
3	Carreta recolectora 3 ruedas	Tracción Manual		30	35	Carreta con 3 ruedas tipo moto, chasis metálico en platina, ejes independientes acoplado a platina en las tres puntos de apoyo

Nota. La tabla 4-1 presenta el primer grupo de recicladores entrevistados en la zona oriente barrio Calixto y jardín.

Sobre la zona centro de la ciudad se identificaron los siguientes equipos

**Tabla 4-2.** Caracterización equipos zona sur- este de la ciudad de Neiva




Ítem	Tipo vehículo	Principio de movilidad	Diseño	Capacidad estimada de carga (Kg)	Peso estimado del equipo (55)	Descripción mecánica
4	Moto Recolectora	tracción mecánica		50	25	equipo recolector con chasis de lamina metálica, con dos ruedas soportes tipo moto, el cual se acopla aun sistema de arrastre localizado sobre la parrilla de una moto SJ80 mediante rosca
5	Carreta recolectora 2 ruedas alta	Tracción manual		40	30	Carreta con 3 ruedas tipo moto, chasis metálico en platina, ejes independientes
6	Bici recolector adaptado	Tracción manual		35	24	Sistema de relación piñón cadena, mono chasis soldado, dos ruedas independientes tipo moto

Nota. En la tabla 4-2 se presenta la relación de equipos empleados por los recicladores del sector.

Con respecto al uso de equipos en la zona norte de la ciudad se tienen



**Tabla 4-3.** Caracterización equipos zona sur de la ciudad de Neiva

Ítem	Tipo vehículo	Principio de movilidad	Diseño	Capacidad estimada de carga (Kg)	Peso estimado del equipo (55)	Descripción mecánica
7	Carreta recolectora 2 ruedas alta	Tracción manual		40	31	Carreta con 3 ruedas tipo moto, chasis metálico en platina, ejes independientes acoplado a platina en las tres puntos de apoyo
8	Bici recolectora	Tracción manual		37	25	Sistema de relación piñón cadena, monochasis soldado, dos ruedas independientes tipo moto
9	Carreta recolectora 3 ruedas baja	Tracción manual		20	12	Chasis en madera, ruedas acopladas de forma independiente

Nota. En la tabla 4-3 se observa los equipos empleados por los recicladores en la zona sur barrios encenillo condominio y zona industrial.

De acuerdo con lo observado en campo, se destacan equipos en muy mal estado de mantenimiento, con capacidades de carga promedio de 34, 1 Kg y peso promedio de equipos que van desde los 12 a 55 Kg.

## 4.2. Caracterización de componentes de equipos actuales

De acuerdo con lo identificado en el ítem 1.3.1. es importante identificar los elementos de mayor uso en los equipos de recolección empleados actualmente en la ciudad de Neiva por parte de los recicladores; según lo anterior estos elementos se caracterizan en la matriz de la tabla 4-4 presentada a continuación.

**Tabla 4-4.** Matriz de caracterización componentes de vehículos para recolección de residuos reciclables.

Ítem	Tipo vehículo	Componente	Función	Material
1		Silla	base de descanso para imprimir potencia	plástico- reforzado
		Freno (contra pedal - koster)	Limitar la marcha del equipo	Acero
2		Freno palanca		Varilla hierro con sistema de resorte -Gualla-zapata
3	Carreta recolectora tres puntos	Chasis	Soporte de elementos acoplados al equipo	hierro-varilla. Tubería galvanizada
		Sistema transmisión	piñón-cadena	acero inoxidable
4		Sistema almacenamiento	almacenar temporalmente el elemento recolectado	Caneca plástico -latón, cubículo en madera o lamina
		Pedal	obtener la potencia	plástico de alta densidad
5		llantas	Tipo moto 17"	Caucho (neumático)
6	Carreta dos puntos	Chasis	integrar los elementos móviles y almacenar la carga	Estructura en acero al carbono-varilla plana, madera
7		llantas	Rin 26 reforzado tipo moto	Caucho (neumático)
8		Transmisión de potencia	Manual a puntos móviles independientes	NA- De tipo manual-Operador
		Llantas	Rin 14 carro	llantas (neumático)
9		Freno palanca	detención del equipo	NA- De tipo manual-Operador

Nota. Se presenta en la tabla 4-4 una descripción de los elementos con mayor frecuencia de uso en los vehículos recolectores usados por las recicladoras o recuperadores en la ciudad de Neiva.

Según lo anterior los elementos descritos en la tabla 2-4 son los de mayor uso para la construcción de los equipos de transporte, es importante aclarar que muchos de estos no siguen un patrón estándar de diseño, pues en la totalidad de los casos, estos han sido modificados en su estructura, medidas, sistema de ruedas, lo que indica la variedad de conceptos para su fabricación en torno de las condiciones reales de operación en la ciudad la cual obedece a vehículos resistentes, que tenga buena capacidad de carga entre otros aspectos.

### 4.3. Caracterización de requerimientos

Según lo descrito en el ítem 4.1 trabajo de campo, los requerimientos de diseño identificados fueron obtenidos a partir de una entrevista directa a 9 recicladores, los cuales manifestaron bajo consentimiento verbal, los siguientes factores necesarios para su equipo y mejora de la productividad y la salud; estos se expresan en la tabla 4-5 mostrada a continuación.

**Tabla 4-5.** Relación y descripción de requerimientos

Encuestado 1	¿Qué aspecto considera usted es clave para desarrollar la actividad en su equipo?	¿Cuáles son los materiales que usted prioriza para la recolección?	¿Qué mejora le haría al actual equipo?	¿El equipo actual es?
1	Capacidad del equipo- fácil desplazamiento	Papel +cartón +Pet	Implementar un piñón-cadena	Propio
1	Bajo mantenimiento- Capacidad	Papel+ Pet	colocar motor	arrendado
3	Que sea propio y no arrendado- capacidad	Pet	colocar motor	arrendado
4	Permita fácil segregación. No sea tan pesado	cartón	Implementar un piñón-cadena	arrendado
5	No se pesado y de fácil mantenimiento	Papel+carton+pet	mejorar la dirección	Propio
6	sea liviano- pueda mejorar con adaptaciones	Papel+carton+pet	Adaptaría un depósito más grande	Propio
7	Que se pueda implementar un motor para mejorar movilidad	Papel+carton+pet	convertirlo a Tracción mecánica	Propio
8	fácil mantenimiento y menos pesado	Papel+carton+pet	Ampliar el colector	Propio
9	Capacidad	Pet	El sillín	Propio

Nota. Se presenta en la tabla 4-5, los requerimientos tomados a una muestra de 9 recicladores a partir de una entrevista en sitio de operación, dada las condiciones de operación y de información real del proceso.

De acuerdo con la tabla 4-5 presentada a continuación, se identifican los factores estandarizados y se determinan las frecuencias de cada uno en función de las respuestas dadas por los recicladores, esto permite determinar los pesos en unidad de porcentaje para

su uso en la evaluación y ponderación según matriz morfológica; según lo anterior los resultados presentan las siguientes características numéricas.

**Tabla 4-6.** Categorización requerimientos y pesos para selección de prototipos

Factor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Puntuación	Peso (%)
Capacidad carga	x	x	x						x	4	27%
Versatilidad desplazamiento	x									1	7%
Mantenimiento económico			x		x			x		3	20%
Peso equipo				x	x	x		x		4	27%
Clasificación material fácil				x						1	7%
Versatilidad en variaciones de mejora						x				1	7%
económico para adquisición			x							1	7%

Nota. La tabla 4-6 muestra la categorización de requerimientos agrupados según frecuencias y estimado según peso

A continuación, se realiza la descripción de los requerimientos

Capacidad de carga: es un factor clave en el desempeño de la actividad hoy día, ya que a mayor capacidad de carga mayor ingreso, de aquí que los sistemas actuales tienen una reducida capacidad la cual está en un rango de 10 a 50 Kg según el equipo; la capacidad de carga está limitada por el peso del equipo; de aquí este factor deba evaluarse para poder generar mayor oferta de material en su proceso.

Versatilidad desplazamiento: Algunos de los equipos actuales emplean ruedas compactas o en su defecto de vehículos como motos o carros como elementos de acople fijos, lo que hace que equipo al manipularse se desplace de forma lineal, careciendo de maniobrabilidad, la cual es necesaria cuando los procesos se realizan en áreas pequeñas o

confinadas; los recicladores indican la necesidad de contar con un equipo que se pueda manipular fácilmente.

Mantenimiento económico: en lo que refiere a este factor la muestra afirma que los componentes del equipo deben ser económicos, genéricos lo que permite encontrarlos fácilmente en el mercado, en muchas ocasiones cuando los precios de los materiales bajan, los ingresos disminuyen notablemente, razón por la cual no les queda en ocasiones recursos para cubrir estas necesidades cuando se presentan.

Peso del equipo: factor clave para la versatilidad en el desplazamiento, la capacidad de carga y por ende del esfuerzo necesario cuando estos son de tipo de tracción humana o animal; los equipos pueden pesar en promedio 28 Kg, lo cual consideran un peso grande que afecta las frecuencias de recorrido para recolección u obliga a que se genere un relevo.

Facilidad para la clasificación de material: La mayoría de los equipos empleados no permiten realizar una adecuada segregación del material recolectado; lo que obliga a que se mezcle papel, cartón, plástico entre otros lo que genera reprocesos para su venta, ya que al llegar deben separarlo nuevamente.

Versatilidad en variaciones de mejora: Este punto establece la posibilidad que tiene el equipo para poder realizar adaptaciones sin afectar su funcionalidad; ejemplo de esto se da, cuando es necesario acoplar un gancho de arrastre o intervenciones correctivas.

Precio de compra: Sin duda es el de mayor importancia para los entrevistados, aquí se busca un precio de compra adsequibles y competitivo al del mercado.

La estandarización de factores comprende un paso importante en la consideración de criterios base para desarrollar el prototipo, ya que ellos recogen los aspectos base para el diseñador.

De lo anterior se establece la importancia de contar con factores definidos en torno a la realidad de la operación de recolección, ya que esto permite simplificar el proceso de diseño; ahora bien, estos factores surgen de las expectativas que tiene el reciclador en cuanto a la necesidad de contar con un vehículo que le simplifique el proceso de recolección y que se ajuste a estos criterios; según lo anterior se plantea en el ítem 2.3 las siguientes propuestas de solución.

#### **4.4. Propuestas de diseño**

Definidos los requerimientos a partir de criterios o factores para el diseño, se proponen las siguientes soluciones, las cuales se realizan bajo el supuesto de las consideraciones tomadas las cuales incluyen, capacidad de carga, versatilidad desplazamiento, mantenimiento económico, peso equipo, clasificación material fácil, versatilidad en variaciones de mejora del equipo, precio, las cuales se tendrán en cuenta para las propuestas.

Otro aspecto tenido en cuenta en las propuestas planteadas, parte del sistema de alimentación empleado para generar el movimiento, ya que como es sabido dentro de los objetivos de sostenibilidad fijados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se relaciona al objetivo 9 “ Industria, innovación e infraestructura”, el objetivo 11 “ ciudades y comunidades sostenibles”, objetivo 13 “ acción por el clima”, los cuales deben

considerarse como una forma de generar valor agregado desde la decanatura; según lo anterior se presentan a continuación en la tabla 4-7 las propuestas de solución a la problemática planteada.

**Tabla 4-7.** Caracterización de propuestas de solución.

<b>Factor o requerimiento</b>	<b>Propuesta 1</b>	<b>Propuesta 2</b>	<b>propuesta 3</b>
Capacidad carga	30 a 80 kg	70 a 95 kg	menor a 60 kg
Versatilidad desplazamiento	llantas caucho, tres puntos de apoyo	llantas caucho, cuatro puntos de apoyo	llantas rígidas plástico alta densidad, tres puntos de apoyo
Mantenimiento	< \$ 500.000 COP	< \$ 700.000 COP	< \$ 500.000 COP
Peso equipo	<45 Kg	<50 Kg	< 60 Kg
Clasificación material	contenedor modular	contenedor modular	contenedor modular
Permite variaciones de mejora	No	Si	No
Económico para adquisición	< \$ 4.000.0000 COP	< \$ 9.000.0000 COP	< \$ 9.000.0000 COP
Sistema alimentación	tracción mecánica	motor eléctrico	Tracción mecánica
ventajas	1- Relativamente liviano.2- Bajo costo de mantenimiento.3- No requiere de un esfuerzo significativo para imprimir potencia de desplazamiento.4- Segura en cuanto modo de uso.5- No contamina el medio ambiente	1- No contamina el medio ambiente.2- Bajo valor comercial de adquisición.3- mayor capacidad de carga.4- permite la clasificación sin reprocesos.5. fácil operación.6- Bajo peso debido a su chasis plástico en material recuperable, lo que hace amigable con el medio ambiente	1- No contamina el medio ambiente.2- Bajo valor comercial para su adquisición.3-Buena capacidad de carga 1- Las llantas rígidas producto de la frecuencia de trabajo se pueden empastara lo que conlleva a la parada del equipo. 2-Más peso implica mayor potencia de consumo.
Desventajas	1. Equipo con limitada capacidad de carga.2- Chasis rígida lo que puede afectar las variaciones de diseño.	1- Llantas de caucho infieren mantenimientos correctivos por pinchaduras.2- por ser una estructura de 4 puntos de apoyo, golpes fuertes pueden dañar el sistema de dirección	

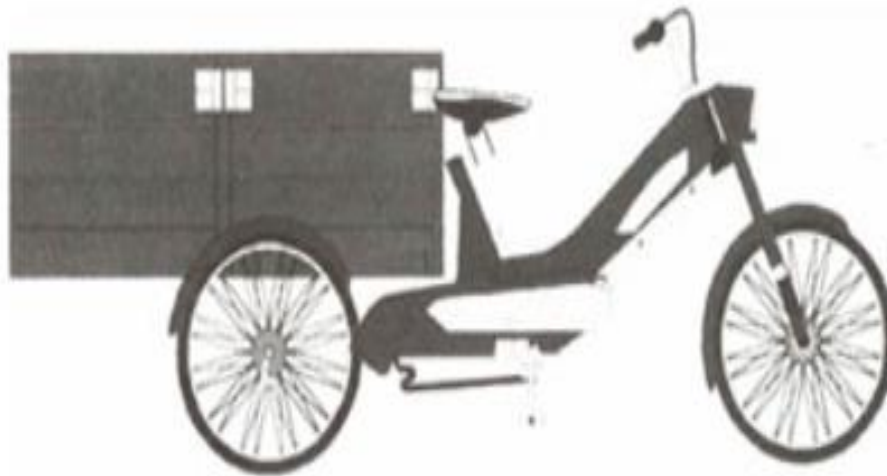
Nota. La tabla 4-7 describe los aspectos más relevantes de las soluciones propuestas.

En base a la anterior tabla a continuación se presenta una descripción de las soluciones planteadas para efectos de ser consideradas en la evaluación y ponderación de la propuesta.

#### **4.4.1. Propuesta 1**

Es un diseño tipo triciclo con tres puntos de apoyo, chasis en acero AISI 304 el cual presenta alta resistencia a la tracción y compresión, ideal para ser usado en diseño de estructuras; esta propuesta tiene un peso menor a 45 Kg, con un sistema de almacenamiento modular para residuos de papel, plástico y vidrio, la potencia la transmite el operador ya que tiene un sistema piñón cadena lo cual hace necesario que la potencia aplicada dependa del operador directamente como se indica en la figura 4-1.

**Figura 4-1.** Prototipo tipo triciclo con tres puntos de apoyo



Nota. En la figura 4-1 se observa un prototipo de vehículo recolector tipo triciclo

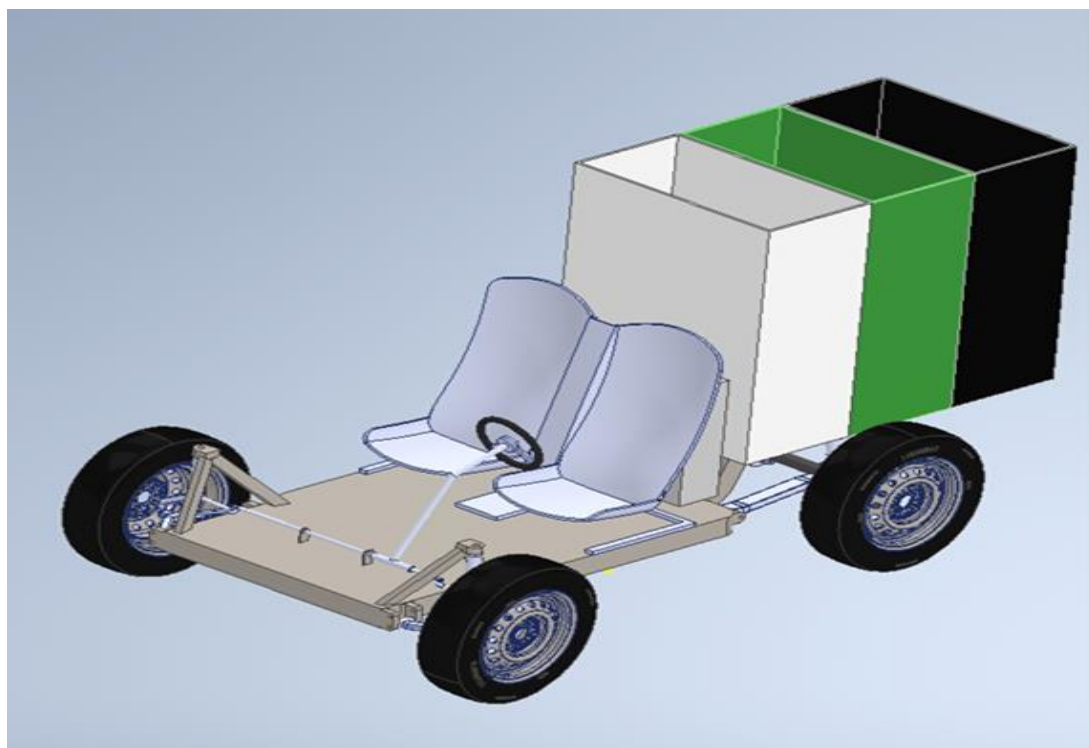
#### **4.4.2. Prototipo 2**

La propuesta 2 es un diseño ajustado a los requerimientos resultantes de la entrevista a los recicladores; tiene una mayor capacidad de carga, un peso de máximo 50 kg, permite



variaciones en su diseño, tiene un sistema de chasis apoyado en 4 puntos móviles, tiene un sistema de almacenamiento temporal de residuos; la potencia para su desplazamiento la obtiene de un motor a partir de un eje polea, por la cantidad de elementos que contiene puede variar en cuanto al costo de mantenimiento, sin embargo estos corresponden a elementos de tipo comercial lo que garantiza su fácil consecución en el mercado.

**Figura 4-2.** Propuesta vehículo recolector residuos



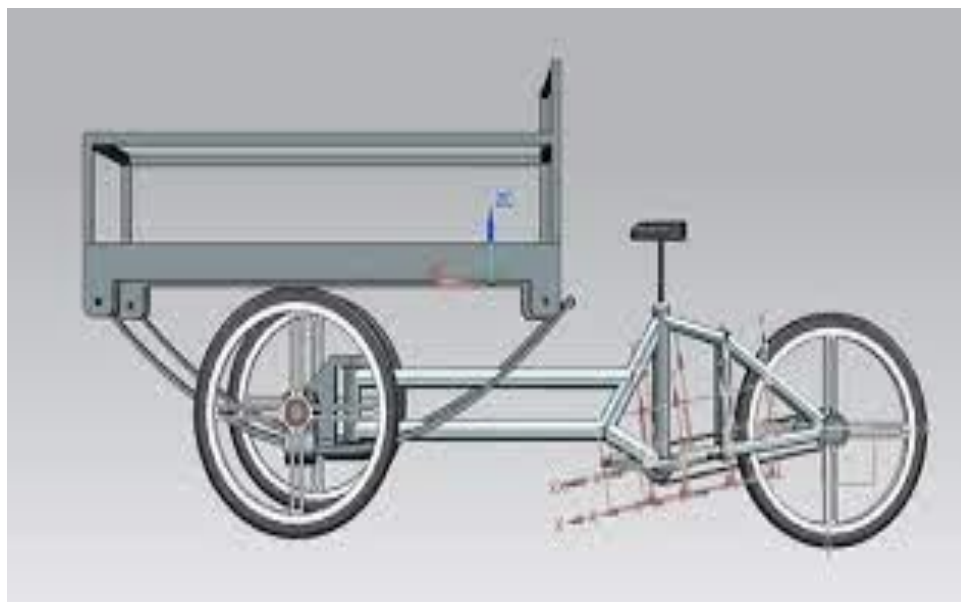
Nota. En la figura 4-2 se observa un prototipo de vehículo recolector tipo triciclo

#### **4.4.3. Prototipo 3**

Propuesta desarrollada bajo la concepción de un bicitaxi, el cual incorpora un módulo de almacenamiento elevado con una capacidad menor a 60 Kg, el cual descansa

sobre una estructura rígida en acero inoxidable, el sistema de tracción es manual para la generación de potencia mediante una relación piñón cadena.

**Figura 4-3.** Propuesta 3



Nota. Se observa en la figura 4-3 el diseño de un sistema de vehículo por tracción manual para recolección de residuos sólidos

#### 4.5. Estudio morfológico para propuestas de solución.

El estudio morfológico permite determinar a nivel cuantitativo el peso de los factores para ser usados en el proceso de evaluación y ponderación de cada factor según las propuestas establecidas como se muestra a continuación en la tabla 4-8.

**Tabla 4-8.** Matriz de evaluación propuestas

Ítem	Factor	Peso Factor %	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
			Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado
1	Capacidad carga	27%		0		0		0
1	Versatilidad desplazamiento	7%		0		0		0
3	Mantenimiento	20%		0		0		0

4	Peso equipo	27%	0	0	0
5	Clasificación material	7%	0	0	0
6	Permite variaciones de mejora	7%	0	0	0
7	Económico para adquisición	5%	0	0	0

Nota. Se presenta en la tabla 2-8 la estructura base para realizar el proceso de selección a partir de la evaluación y ponderación de factores.

La tabla 4-8 describe los factores usados para evaluar y seleccionar la propuesta que más se ajusta a los requerimientos identificados previo proceso de campo; de acuerdo con lo anterior, se fija un peso a cada factor en función del nivel de importancia dado por los recicladores en función de la distribución de frecuencia de la tabla 4-5 (Categorización requerimientos y pesos para selección de prototipos); en la columna evaluación se registra la valoración dada la cual va en una escala de 1, 3 y 5 siendo 1 la peor valoración, 3 un valor que cumple, pero que no supera las expectativas del reciclador y 5 aquel valor que da cumplimiento total al requerimiento; en la casilla resultado se registra de forma automática previa formulación en plantilla Excel el resultado de multiplicar el peso por la evaluación con respecto a cada prototipo; el valor de mayor peso en la suma de los factores corresponde aquel prototipo que cumple a cabalidad con las expectativas del reciclador.

#### **4.6. Selección y caracterización de la propuesta escogida.**

Como se tienen definidos los pesos de los factores multiplicadores, se procede a desarrollar la calificación de las propuestas, iniciando con el registro en la tabla 2-7, la cual al realizar la operación de ponderación, muestra la propuesta de mayor calificación como se indica a continuación en la tabla 2-9 y de la cual se concluye

**Tabla 4-9.** Matriz de evaluación final a partir de factores establecidos

Ítem	Criterio	Peso Factor %	Propuesta 1		Propuesta 2		Propuesta 3	
			Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado	Evaluación	Resultado
1	Capacidad carga	27%	1	0,27	5	1,35	5	1,35
2	Versatilidad desplazamiento	7%	5	0,35	5	0,35	3	0,21
3	Mantenimiento	20%	5	1	1	0,2	5	1
4	Peso equipo	27%	3	0,81	5	1,35	1	0,27
5	Clasificación material	7%	5	0,35	5	0,35	5	0,35
6	Permite variaciones de mejora	7%	5	0,35	5	0,35	3	0,21
7	Económico para adquisición	5%	5	0,25	3	0,15	3	0,15
		100%	3,38		4,10		3,54	

Nota. La tabla 4-9 muestra las diferentes ponderaciones totales de las propuestas

Se observa en la tabla 4-9 que la calificación de la propuesta 1 fue de 3,38 sobre cinco; los criterios que incidieron en su baja calificación están asociados a su limitada capacidad de carga, la cual está muy por debajo de la esperada por los recicladores (80 Kg) y que en términos generales es la variable de mayor incidencia en el proceso; otro factor se asoció al peso de la máquina, el cual es menor a 45 Kg, pero superior a la capacidad de carga que oscila entre 30 a 80 Kg; pese a que esta propuesta obtuvo una muy buena calificación en cuanto al costo de adquisición, este no es un factor determinante para el reciclador.

En lo que refiere a la propuesta 2, se puede afirmar inicialmente que tiene la mayor ponderación la cual es de 4,10/ 5, lo que conlleva a que esta alternativa se seleccione como la ideal para el desarrollo del concepto, ya que se ajusta a los factores o requerimientos dados por los recicladores; dentro de los factores evaluados de mayor incidencia se encuentran su amplia capacidad de carga, a diferencia de las otras dos propuestas, este diseño emplea 4

puntos de apoyo convirtiéndola en un vehículo estable, tiene un sistema modular de almacenamiento y permite variaciones en su diseño lo cual lo hace versátil; sin embargo presento una baja calificación en cuanto al precio de compra y el mantenimiento debido a que posee mayor número de elementos mecánicos de fácil consecución a nivel comercial pero que afectan esta variable por la variación de precios en el mercado.

Las razones anteriormente descritas llevaron a que la opción de mayor conveniencia estuviera dada por la propuesta 2, ya que presenta diferencias marcadas a favor, las cuales se ven reflejadas en la máxima puntuación otorgada y cuyo valor fue de 4,10; un aspecto no menor y que se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible se relaciona a que el chasis es en material plástico fundido recuperado, lo que agrega valor a la propuesta y la convierte en una opción sustentable en pro del medio ambiente y del aprovechamiento de los propios materiales recuperados, ya que alarga aún más su vida útil reduciendo los impactos ambientales por generación de material plástico.

La calificación del prototipo 3 fue de 3,54, lo que la ubica como segunda opción de diseño, sin embargo factores como el peso, la no posibilidad de realizar variaciones hacen que baje su calificación,

De acuerdo con el análisis realizado en el capítulo 2, los factores planteados para seleccionar la propuesta corresponden a necesidades específicas del reciclador, producto de la experiencia en operaciones de reciclaje y recuperación en la ciudad de Neiva; factores como costo, capacidad de carga, precio de compra, mantenimiento y la capacidad para realizar mejoras son fundamentales para su consideración en el desarrollo de soluciones de transporte para recolección de residuos por parte de los recicladores.

Es de resaltar que el método de análisis morfológico facilita la selección de un diseño, ya que permite establecer diferentes criterios para la toma de decisiones relacionadas con el diseño mecánico de una solución; el caso particular para la evaluación del prototipo corresponden a la adaptación dada a estos requerimientos producto de la entrevista en las zonas de operación y rutas de recuperación de los recicladores y de la cual se construyeron los factores base para el desarrollo de soluciones; claramente los criterios pueden variar, así como sus alcances, sin embargo resta en función del diseñador, interpretar estas necesidades, así como la propuesta, la cual debe estar socializada con el cliente, como se desarrolló en el transcurso de esta investigación.

#### **4.7. Desarrollo del prototipo**

El prototipo desarrollado en función de los resultados del análisis de morfológico corresponde a la propuesta 2 cuya calificación fue de 4,10; según lo anterior las partes que lo componen se describen a continuación:

- **Chasis:** Corresponde al elemento de mayor innovación ya que para su diseño se consideró una sola pieza fundida de plástico reciclado termoformado de alta densidad; el cual de acuerdo con el proveedor, su función es la de permitir el ensamble de elementos mediante principios de sujeción, así como servir de estructura base para soportar el peso de los elementos adicionales que hacen parte del diseño como los contenedores, el motor, la transmisión entre otros.
- **Tolva de residuos:** La tolva de residuos puede variar en función del tipo de residuo recolectado, de aquí su diseño considero el requerimiento de que fuera modular para

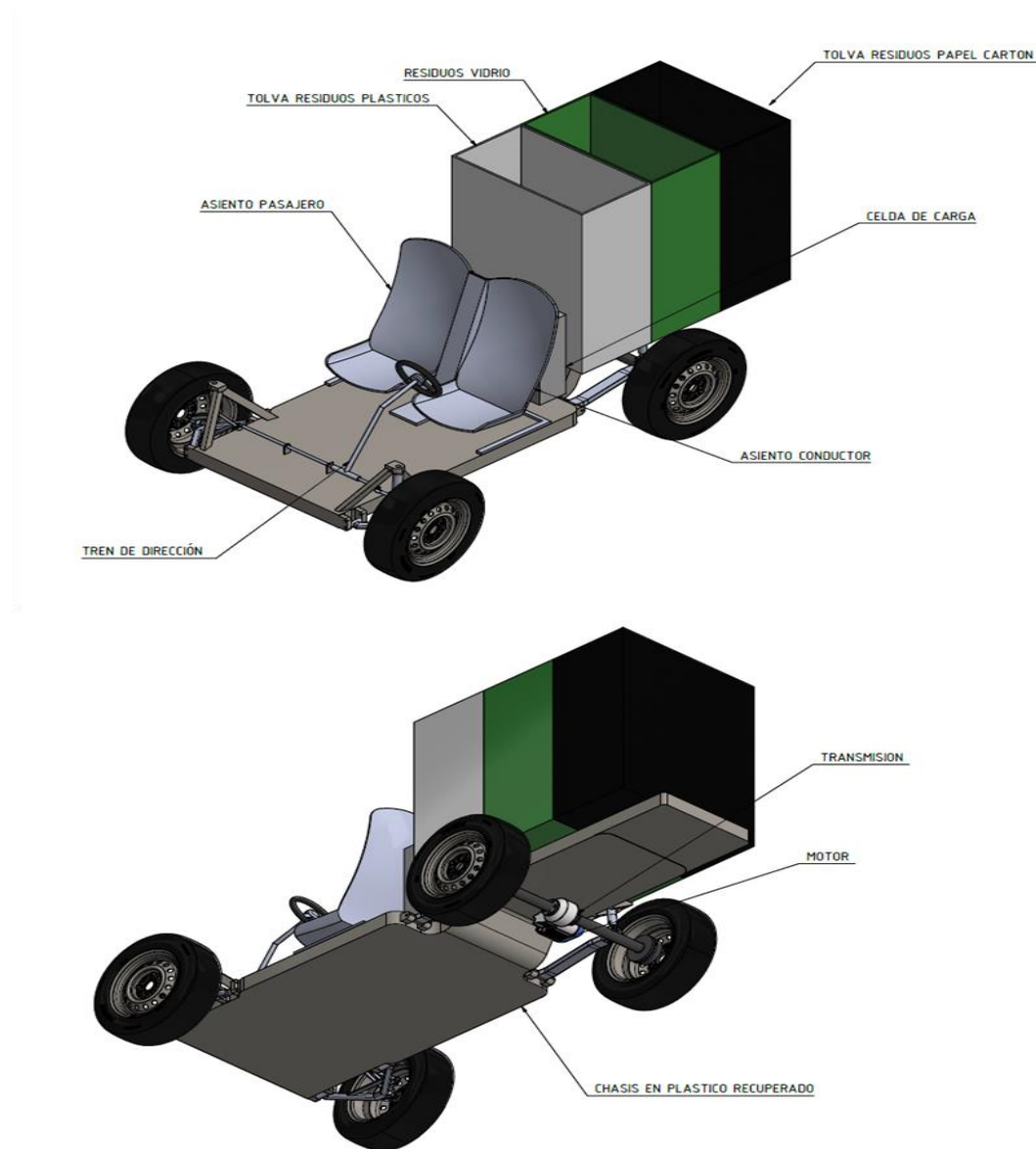
efectos de poder clasificar desde la fuente sin generar reprocesos al momento de la venta por concepto de material mezclado.

- **Celda de carga:** Es el mecanismo de fuerza más común del mercado; las celdas de carga también pueden considerarse un tipo de sensor de fuerza, ya que toman un estímulo mecánico (peso) y lo transforman en una señal eléctrica medible por un sistema de control, que lo expresa de forma visual a través de un indicado
- **Asientos de conductor y copiloto:** Elementos de apoyo para la movilización mediante el tren de dirección del vehículo.
- **Motor:** Es uno de los elementos principales de diseño del vehículo, ya que es la fuente de alimentación de este, tiene como función entregar el torque o potencia necesaria para la movilización del vehículo.
- **Transmisión:** Clave en el diseño ya que tiene como función principal llevar el movimiento a las ruedas del automóvil, transmitiendo la potencia y fuerza generada por el motor, para lograr que el auto se desplace.
- **Llantas:** Dentro de sus funciones se destacan la de dar estabilidad a la trayectoria del vehículo. Las llantas seleccionadas en el diseño son de referencia 175/65 R15, las cuales son de alta rotación a nivel comercial, lo que garantiza su fácil adquisición.
- **Dirección:** de tipo mecánica, tiene como función orientar las ruedas directrices de un vehículo a voluntad del conductor u operador.

De acuerdo con las descripciones dadas anteriormente sobre los elementos relacionados que componen el prototipo seleccionado es importante visualizar el concepto desarrollado en esta primera fase, ya que dentro de los factores a considerar están su facilidad para la aplicación de mejoras en su diseño.

Según lo anterior el diseño correspondiente se describe a continuación en la figura 3-1 a continuación.

**Figura 4-4.** Componentes del prototipo desarrollado



Nota. En la figura 4-4 se observa una vista isométrica del prototipo de vehículo recolector de residuos para los recicladores de la Cooperativa de Galindo en la ciudad de Neiva.



En los anexos del 1 al 7 se presentan los planos de detalle del prototipo.

#### **4.8. Elementos para adquisición**

Otro aspecto considerado para el diseño parte del criterio de la facilidad de poder realizar mejoras, criterio que llevo a establecer que muchos de los componentes se aplican mediante un modelo de integración en líneas de producción, es decir que algunas de las piezas se van a adquirir a nivel comercial, dada la facilidad que ofrece el diseño de poder ensamblar el prototipo con piezas o kits que se pueden adquirir en el mercado de autopartes local o nacional.

Los elementos independientes para adquirir corresponden a:

Kit de transmisión:

Batería:

Llantas:

Dirección:

Transmisión:

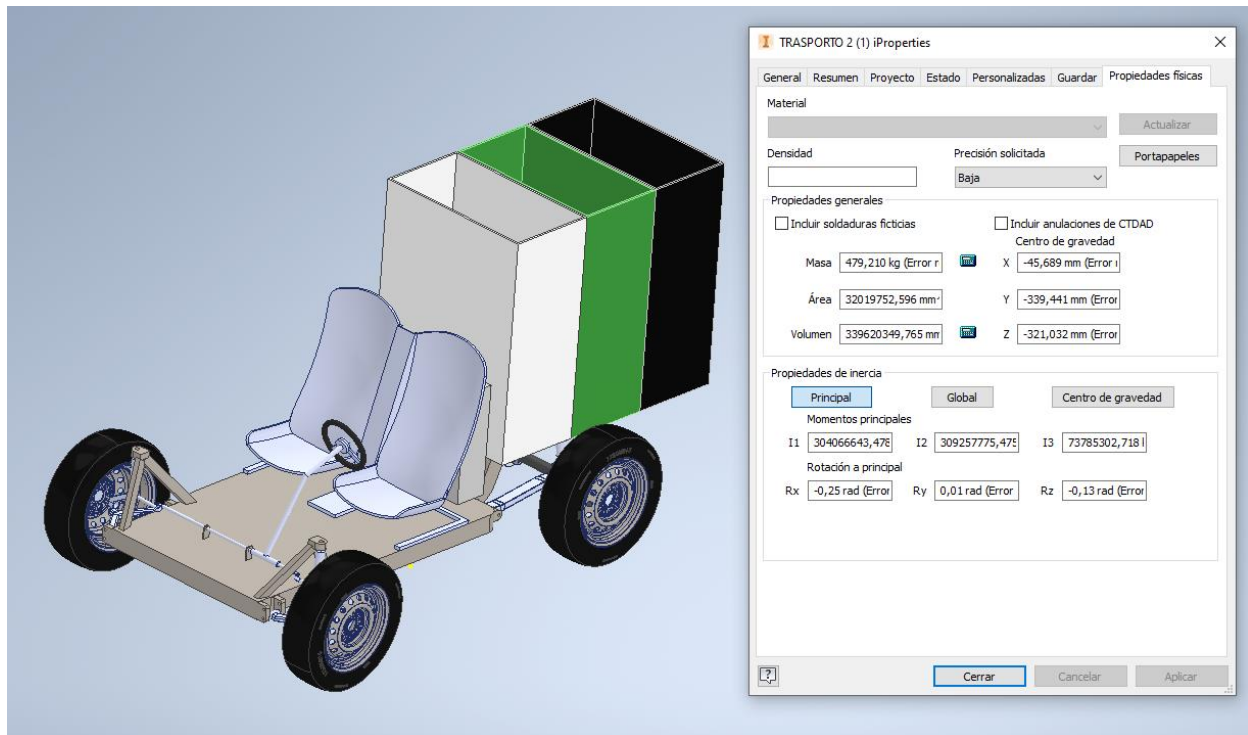
Sillas conductor y copiloto:

#### **4.9. Elementos de cálculo y diseño**

##### ***4.9.1. Cálculo de potencia***

La potencia es una variable fundamental para caracterizar el tipo de superficies en donde se puede desplazar el prototipo; según lo anterior se tiene el prototipo modelado y parametrizado en el software autodesk Inventor versión 2022 como se indica en la figura 4-5 presentada a continuación.

**Figura 4-5.** Entrada de parámetros para cálculo de potencia del vehículo



Nota. En la figura 4-5 se observa la entrada de datos para determinar la potencia del vehículo.

El vehículo en vacío pesa 480 Kg, este valor se obtiene de sumar el peso estimado del conductor más el copiloto de 180 Kg, más la carga teórica de 300 Kg, a esto se suma los 500 Kg de carga viva y útil la cual corresponde a la estructura del vehículo, lo que nos da un total de 980 Kg.

A partir de este valor se realiza el cálculo de la potencia la cual considera la siguiente información adicional recomendada por Cruz (2014) sobre valores de coeficientes de resistencia a la rodadura en diferentes tipos de suelo presentada continuación en la tabla 3-1 (Cruz, 2014).

**Tabla 4-10.** Coeficiente de rozamientos a la rodadura según el tipo de suelo

Naturaleza y Estado del Suelo	Coeficiente de Resistencia a la Rodadura ( $k$ ) <sup>1</sup>	Índice de Cono (CI) [kPa]	Número Característico ( $B_n$ )
Carretera en buen estado	0,02 a 0,04	-	
Camino de tierra afirmado	0,03 a 0,05	-	
Camino de tierra	0,04 a 0,06	-	
Suelo baldío	0,06 a 0,10	1.800	80
Rastrojo seco	0,08 a 0,10	1.200	55
Tierra labrada	0,10 a 0,20	900	40
Arena y suelo muy suelto	0,15 a 0,30	450 - 250	20

Nota. la tabla 4-10 muestra los coeficientes de rozamiento en función del estado del suelo sobre el cual el prototipo se va a desplazar.

Como se identificó en el proceso de inspección el tipo de suelo sobre el cual se desplazan los diferentes equipos corresponde según Márques (2014) a suelos tipo baldío, los cuales se definen como bien urbano, bien rústico, que está sin edificar ni cultivar y forma parte de los bienes del Estado, según lo anterior el coeficiente de resistencia a la rodadura es de 0.1 como se indica en la tabla 4-10.

Conocido el coeficiente se procede a determinar la fuerza necesaria para vencer la estática del vehículo, para ello (Myszca, 2012) propone el uso de la ecuación (1) para determinar dicha fuerza, presentada a continuación

$$F = W * \mu \quad \text{Ecu. (1)}$$

De donde

$W$  = Fuerza o peso total del vehículo con carga

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento a la rodadura

Al reemplazar estos valores se tiene

$$F = 980 \text{ Kg} * 0.1 = 98 \text{ Kg}$$

#### 4.9.2. Cálculo de potencia para pendientes

Para el cálculo de la potencia, partimos del supuesto de un ángulo de inclinación de  $10^\circ$ ; el peso del vehículo es 980 Kg, según lo anterior se tiene:

**Tabla 4-11.** Tabla coeficiente de fricción

$C_r$	d	Descripción
0.0002 a 0.0010	0.5 mm	Ruedas de ferrocarril sobre rieles de acero
	0.1 mm	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
0.0025		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
0.005		Rieles estándar de tranvía
0.0055		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares <sup>3</sup>
0.006 a 0.01		Neumáticos de automóvil de baja resistencia y neumáticos de camión sobre carretera lisa
0.010 a 0.015		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
0.02		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
0.030 a 0.035		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
0.055 a 0.065		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena
0.34		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena

El valor del coeficiente de fricción es de 0.006; al despejar la fuerza de rozamiento de la ecuación (2), se tiene:

Despejamos fuerza de rozamiento

$$Fr = \mu * Fy \quad \text{Ecu. (2)}$$

$$FN = 980 * 9.81 \frac{m}{s^2} = 9613.8 N$$

$$Fy = FN \cos 10^\circ$$

$$Fy = 9613.8 \cos 10^\circ = 9467.7 N$$

$$Fr = 0.006 * 9467.7 N = 56.80 N$$

Al despejar la fuerza de ascenso por la pendiente, se tiene:

$$F_A = (FN + Fr) * \text{sen } 10^\circ$$

$$F_A = (56.80 + 9613.8) * \text{sen } 10^\circ = 1679.2 N$$

El torque generado por esta fuerza sobre el diámetro de la rueda es:

$$T = 1679.2 * \left( \frac{0.608}{2} \right) = 510.50 \text{ N.m} \approx 52 \text{ Kg.m}$$

Al decir este valor por la relación de transmisión se tiene:

$$T_{motor} = \frac{52}{4.12} = 12.62 \text{ Kg.m}$$

La potencia del motor es:

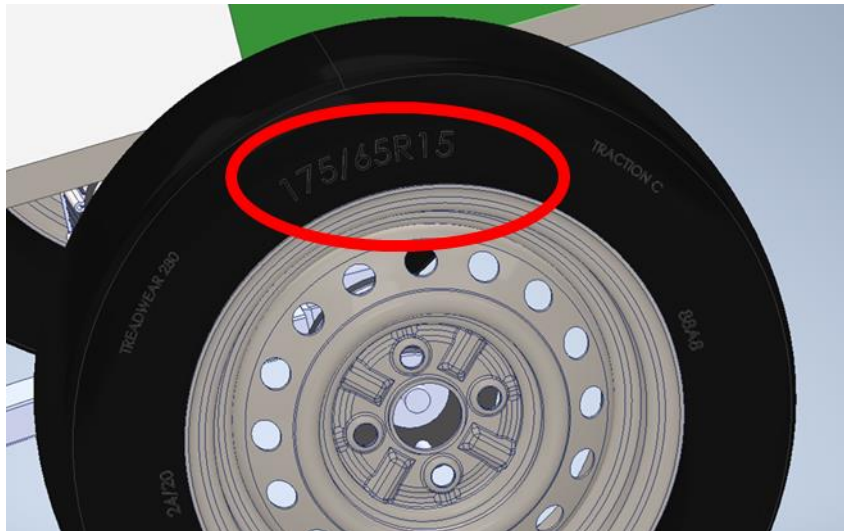
$$W = \frac{12.62 \text{ Kg.m} * 1750 \text{ rpm}}{716} = 30.8 \text{ HP}$$

El motor es de 30 Kw o 40.8 HP. Teniendo 10 HP de potencia adicional para pendientes de 10°.

#### **4.9.3. Cálculo del par o torque generado**

Para determinar el torque generado por la fuerza tangencial sobre la rueda utilizada en el prototipo, se debe conocer las características de esta, las cuales para el caso del diseño emplea una rueda 175/65 R15 (Rin 15); este código según López (2015) indica el ancho de la llanta (175), la relación de aspecto o perfil (65), la arquitectura de la llanta (R= radial) y el diámetro del rin (15) como se observa en la figura 4-6; conocido este valor se determina la fuerza tangencial (López, 2015).

**Figura 4-6.** Especificación técnica de llantas usadas en prototipo para cálculo de fuerza tangencial



Nota. La figura 4-6 corresponde a la llanta usada en el prototipo seleccionado

La rueda tiene un diámetro comercial de 608 mm, a partir de este dato se calcula el torque generado, para lo cual (Myszca, 2012) sugiere el uso de la ecuación (2) como se indica a continuación.

$$T = F * \left( \frac{D_{rueda}}{2} \right) \quad \text{Ecu. (2)}$$

De donde:

F= fuerza necesaria para vencer estática

$D_{rueda}$ =diámetro de la rueda

Al reemplazar estos valores en la ecuación (2), se obtiene el siguiente valor numérico, el cual corresponde a el torque generado de la carga más el diámetro de la rueda.

$$T = 98 \text{ Kg} * \left( \frac{0.608}{2} \right)$$

$$T = 29.79 \text{ Kg.m}$$

$$T = 292.2 \text{ N.m}$$

Para calcular la potencia necesaria, se debe determinar la velocidad angular de la rueda, para ello asumimos una velocidad máxima de 50 Km/h (833.3 m/min), el cual corresponde al estándar de velocidad urbana dado por (López, 2015).

Según lo anterior (Myszca, 2012) sugiere el uso de la ecuación (3) para determinar la velocidad angular, de acuerdo con lo anterior se tiene

$$V = \pi * D_{rueda} * N \quad \text{Ecu. (3)}$$

De donde

$V$ =Velocidad

$D_{rueda}$ = Diámetro de la rueda

$N$ =Velocidad angular en rpm

Al reemplazar en la ecuación (3) se tiene:

$$N = \frac{V}{\pi * D_{rueda}}$$

$$N = \frac{833.3 \text{ m/min}}{\pi * 0.608\text{m}} = 436.2 \text{ rpm}$$

Como se conoce el valor de la velocidad angular, se procede a determinar la potencia teórica directa en función al torque y la velocidad angular, obteniendo el siguiente resultado.

$$W = \frac{292.2 * 436.2}{716 * 0.95} = 187.38 \text{ HP}$$

La potencia calculada se calcula a partir de una relación directa, es decir 1:1 con un motor asíncrono de 1750 rpm, según lo anterior la velocidad lineal necesaria se determina a partir de una relación de transmisión 4.12., lo que proporciona una potencia de 45.47 hp

#### 4.9.4. Relación de transmisión.

Según (Myszca, 2012) los motores eléctricos giran a una velocidad angular de 1800 rpm, por lo que conocido este valor se procede a calcular la relación de transmisión mediante la ecuación (4).

$$i = \frac{rpm \text{ motor}}{rpm \text{ prototipo}} \quad \text{Ecu. (4)}$$

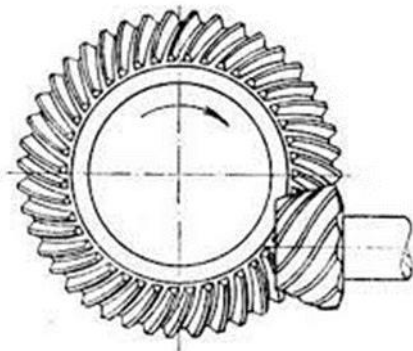
Al reemplazar estos valores conocidos se tiene

$$i = \frac{1800 \text{ rpm}}{436.2 \text{ rpm}}$$

$$i = 4.12$$

A partir de la relación de transmisión calculada se define un kit de arrastre del dispositivo, el cual trae de forma integrada el conjunto de motor, caja y celdas de baterías; la transmisión es de tipo hipoidal como se indica en la figura

Figura 4-7. transmisión hipoidal



Nota. se presenta una transmisión tipo hipoidal la cual es usada en el prototipo.

Es el estándar de transmisiones para uso automotriz, a diferencia del vehículo convencional que tiene una caja con diferentes trenes de relación, este es constante, ya que



se regula la velocidad y el torque de salida del motor mediante un variador de frecuencia incorporado dentro el mismo kit

Conocida la relación de transmisión se procede según (Myszca, 2012) a calcular la potencia real de entrada de transmisión empleando para ello la ecuación (5) descrita a continuación.

$$W_{real} = \frac{W}{i} = \text{Ecu. (5)}$$

$$W_{real} = \frac{187.34 \text{ hp}}{4.12} = 45.47 \text{ hp} \approx 33.906973$$

Para la adquisición del kit eléctrico y la transmisión calculada se buscó un proveedor chino para su compra como se indica a continuación en la figura 3-4.

Figura 4-8. Proveedor de kit eléctrico y de transmisión

**Vehicle Motor Kit Electric Car Conversion 70 Kw Electric Drivetrain**

Reference FOB Price: **US \$1,605 / Set** | 1 Set (Min. Order)

Application: Universal, Industrial, Car  
 Operating Speed: High Speed  
 Operation Mode: Electric Motor  
 Magnetic Structure: Permanent Magnet  
 Function: Driving  
 Structure: Rotating Armature Type (Pole Fixed)

Customization: Available | [Customized Request](#)

Contact Supplier: Ms. Nora, Overseas Sales Representative

[Contact Now](#) | [Chat with Supplier](#) | [Inquiry Basket](#)

Hepu Power Co., Ltd. | Gold Member Since 2019 | Audited Supplier

**MC180-165 ( MC180 High voltage Series )**

**1. Introduction & Parameter Table of Driving System**

The MC180-165 power system is mainly used in A0 (or A00)-class passenger cars, compact SUVs, MPVs and micro-surfaces. The drive motor is suitable for front-drive and rear-drive. It has strong structural compatibility and a wide range of motor speeds. It is more suitable for matching high-speed gearboxes, and features high control precision, high efficiency, and good stability.



Motor	Model	Operating Voltage VDC	Number of Pole Pairs	Rated Power KW	Peak Power KW	Rated Speed rpm	Peak Speed rpm	Back EMF V
		TZ180X30H-336	336	4	30	70	4050	12000
Controller	Rated Torque N.m	Peak Torque N.m	Rated Current A	Peak Current A	Protection Grade	Weight KG	Size MM	Cooling Mode
	70.7	165	115	255	IP67	35	Φ222*260	Water Cooling
Controller	Model	Input Voltage Range VDC	Rated Input Voltage VDC	Rated Capacity KVA	Peak Capacity KVA	Rated Output Current A	Peak Output Current A	
	KTZ34X25SHP A	220-420	336	35	70	120	250	
	Peak Current Duration S	Output Frequency Range Hz	Working Environment Temp °C	Protection Grade	Weight KG	Size MM	Cooling Mode	
30	0-800	-40-55	IP67	5.1	292*242*112	Water Cooling		

Nota. en la figura 4-7 se observa la relación de transmisión y kit eléctrico

#### 4.10. Análisis de elementos finitos-método Von Mises para chasis

A continuación se presenta los análisis de chasis a partir del uso de material de plástico recuperado mediante proceso de moldeado y prensado; para ello se parte de las características mecánicas del material establecido, las cuales se presentan en la tabla

Las características mecánicas del material se ingresan al software Autodesk inventor para su respectiva simulación; según lo anterior por tratarse de un material recuperado, las características son:

**Tabla 4-12.** Características de material de plástico

Nombre	Plástico Recuperado	
	Densidad de masa	1,626 g/cm <sup>3</sup>
General	Límite de elasticidad	115 MPa
	Resistencia máxima a tracción	130 MPa
	Módulo de Young	14,25 GPa
Tensión	Coefficiente de Poisson	0,35 su
	Módulo cortante	5,27778 GPa
Nombre(s) de pieza	Chasis recolector	

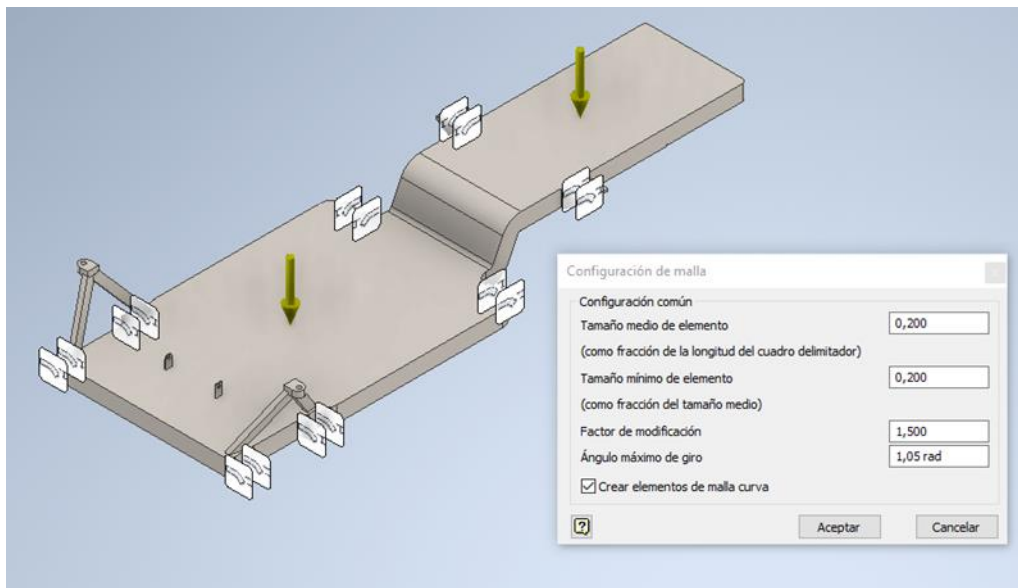
Nota. en la tabla 4-11 se observan las propiedades del material plástico de alta densidad recuperado.

#### 4.10.1. Análisis de tensión del chasis

Para efectos de poder realizar el análisis de tensión máxima en el chasis se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

La sensibilidad de malla utilizada se define por la capacidad de la máquina que realizara el ensayo. En este caso que no se cuenta con un equipo especializado para una malla por el orden de la centésima o milésima de milímetro, se trabajó en décimas, la sensibilidad de malla es de 0.2mm.

**Figura 4-9.**Analisis de sensibilidad

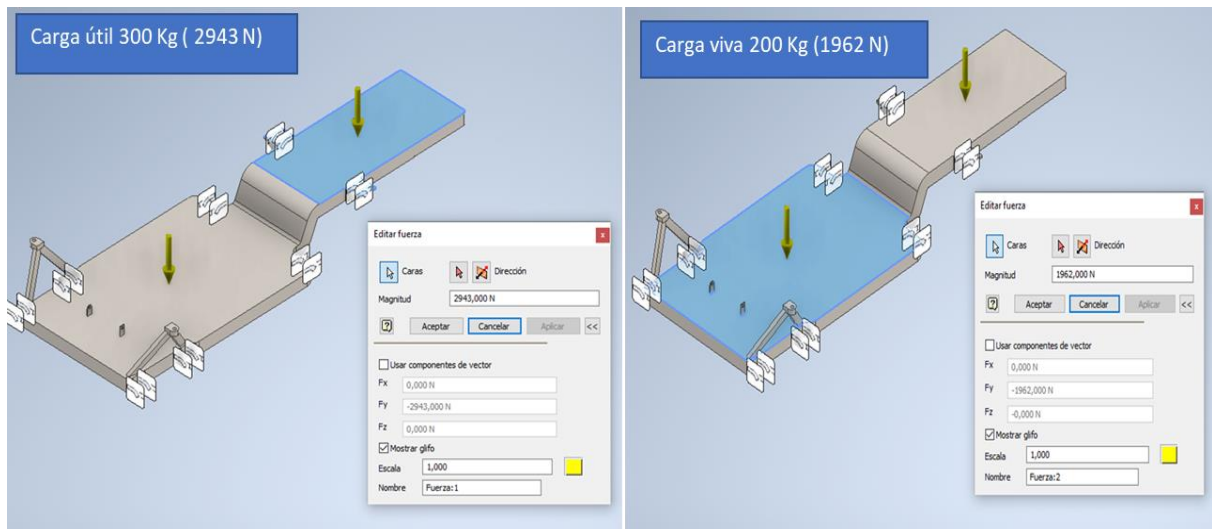


Nota. se observa el diagrama de distribución de cargas sobre chasis plástico para análisis de sensibilidad.

Las cargas a las cuales estará sometido el chasis comprenden la carga viva de 200 Kg y la carga útil cuyo valor es de 300 Kg presentadas en la figura 4-10, las restricciones están dadas por los elementos que recibirá los ejes y la suspensión; según lo anterior se procede con la simulación de cargas combinadas.

Se dejan los apoyos en donde se ubican las ruedas, las cuales hacen parte del sistema de suspensión, es decir dónde van los pasadores como elementos rígidos.

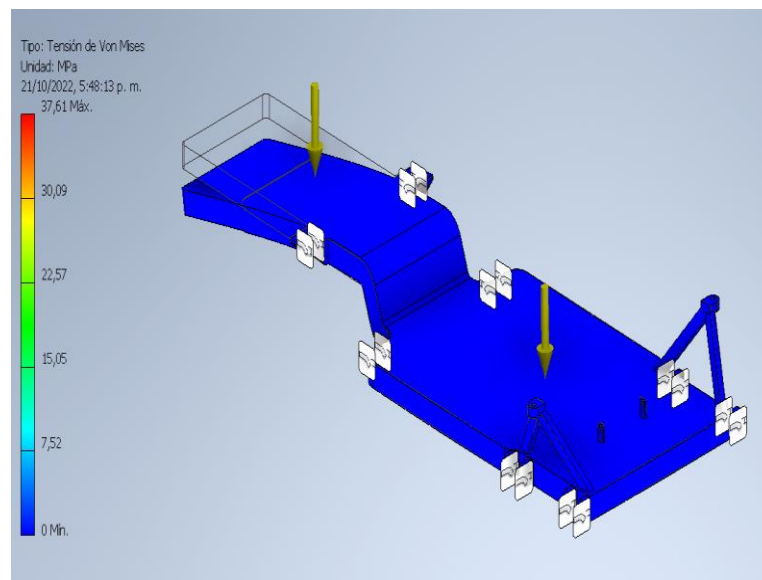
**Figura 4-10.** Distribución de cargas para estudio de esfuerzo máximo



Nota. se observa el diagrama de distribución de cargas sobre chasis plástico

Al realizar el proceso de simulación, en la cual somete el chasis a estas cargas se tiene el siguiente resultado reflejado en la figura 4-11 a continuación.

**Figura 4-11.** Comportamiento chasis al someterlo a máxima tensión



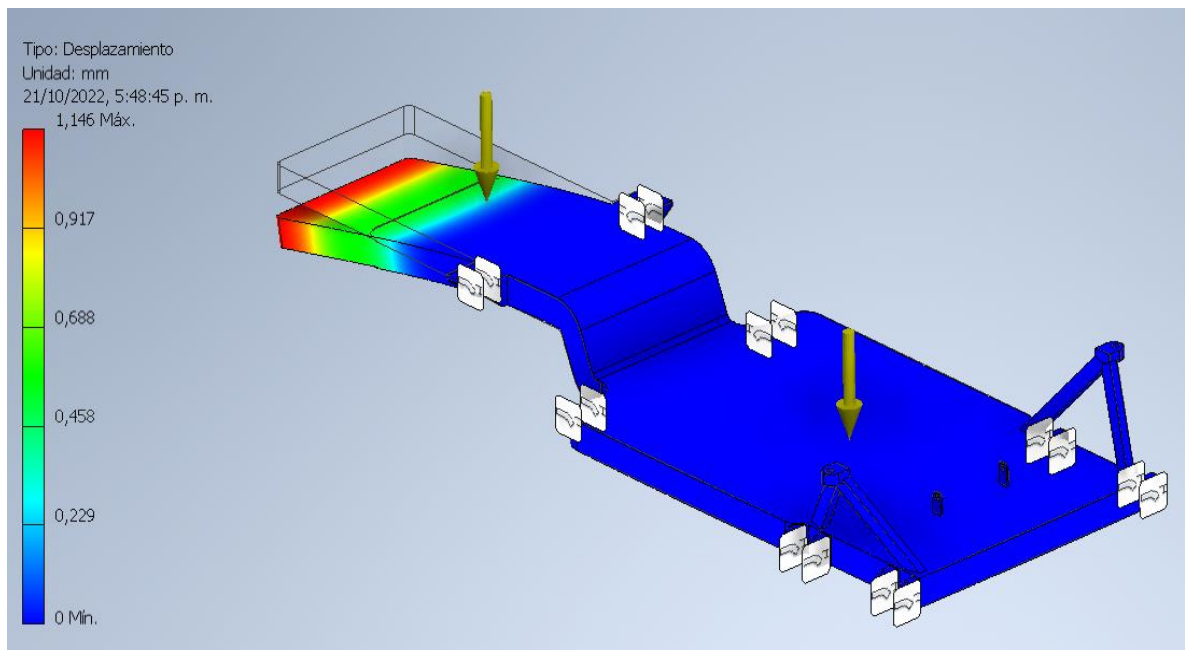
Nota. La figura 4-11 muestra el comportamiento del chasis cuando es sometido a esfuerzos máximos resultantes de la carga viva y útil que soporta.

Este valor de tensión o esfuerzo que soporta el chasis, trabajando en condiciones de esfuerzo máximo es de 37,61 MPa y se concentra como lo indica la figura sobre los apoyos de las ruedas; se observa un buen comportamiento del material en cuanto a la tensión aplicada, evidenciado por el color azul a lo largo del chasis por lo tanto, se concluye que el elemento no presentara fracturación para su uso operacional de acuerdo con las máximas cargas a las que se somete.

#### ***4.10.2. Análisis de desplazamiento máximo***

En la figura 4-12, se puede apreciar el desplazamiento máximo del chasis, cuando trabaja a esfuerzos máximos. En la sección de color azul, se observa un desplazamiento máximo de 0,229 mm, el cual se concentra en la sección media de la base de los módulos recolectores, así como la sección final del módulo recolector de papel, y que se identifica por las áreas rojas; las áreas azules nos indican zonas en donde no se presenta desplazamiento del material del cual está hecho el chasis, solo a partir del cambio de color azul a verde se puede identificar una variación pequeña cuyo valor es de 0,458; sin embargo el máximo desplazamiento que alcanza el chasis es de 1,146 mm, lo cual no representa riesgos de cizallamiento dadas las condiciones del material empleado.

**Figura 4-12.** Análisis se desplazamiento del chasis.

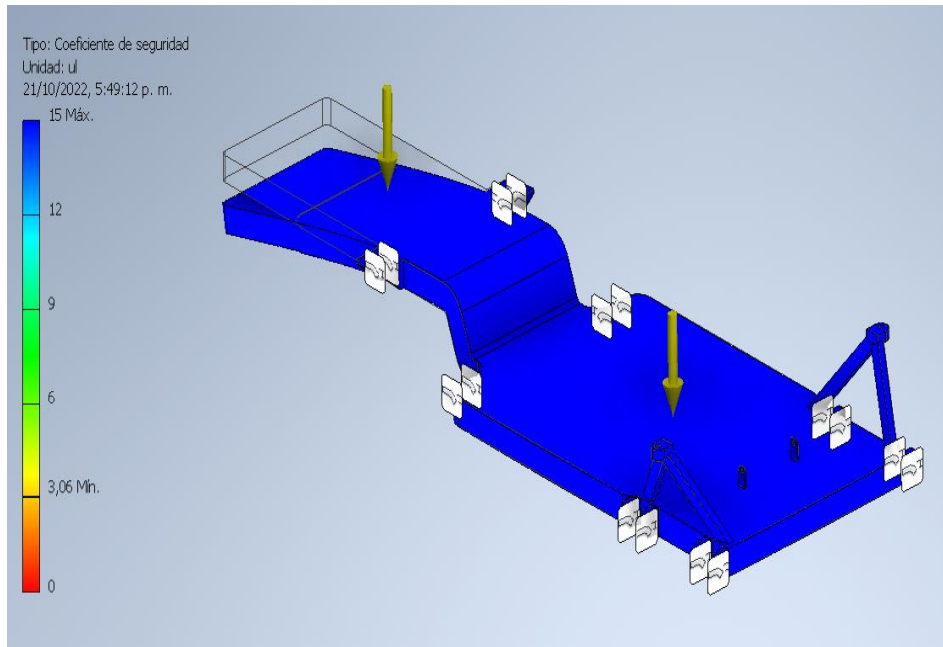


Nota. La figura 4-12 muestra el desplazamiento máximo que sufre el chasis al trabajar a máxima tensión del chasis cuando es sometido a esfuerzos máximos resultantes de la carga viva y útil que soporta.

#### ***4.10.3. Análisis de factor de seguridad***

El factor de seguridad del chasis se aprecia por encima de 3.06, lo cual quiere decir que soporta 3 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que el material de diseño de chasis cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo de manera exitosa, y se garantiza la durabilidad que permita, bajo un buen esquema de uso y mantenimiento (limpieza y ajustes preventivos periódicos),

**Figura 4-13.** Análisis de factor de seguridad



Nota. Se observa en la figura 4-13 un buen comportamiento del factor de seguridad para el chasis pastico

Teniendo en cuenta los anteriores resultados se concluye mediante el análisis, que el chasis funciona correctamente sin presentar problemas cizallamiento o deformación de este por efecto de las fuerzas aplicadas durante el desarrollo de las actividades y operaciones de reciclado; por lo tanto cumple la función de diseño sin generar riesgos o problemas funcionales.

Por lo tanto se tiene

- El esfuerzo máximo del chasis es de 37,61 MPa, el cual está por debajo del esfuerzo máximo del material que es de casi 115 MPa.
- El desplazamiento máximo en la parte trasera del chasis es de 1.14 mm, ya que en este punto se encuentra en voladizo. Pero a pesar del desplazamiento, la flexión es mínima y aceptable.



- En la gráfica final apreciamos que tenemos un factor de eficiencia de carga de 3.06. por lo tanto, el chasis funciona adecuadamente.

#### 4.11. Ensamble y construcción

El proceso de construcción parte de la adquisición de materiales para su corte y mecanizado, luego se procede al ensamble y acabado, como se indica a continuación:

##### 4.11.1. Corte y mecanizado de componentes para prototipo.

Incluye las actividades de medición, corte y acabado de los elementos para el ensamble, estos corresponden al chasis, sistema de almacenamiento entre otros, como se indica en la figura 4-12.

**Figura 4-14.** Corte y mecanizado Equipo



Nota. Se observa en la figura 4-14, el corte del material plástico para chasis

#### ***4.11.2. Ensamble del prototipo a escala.***

Una vez cortada las piezas, se realiza el proceso de ensamble, empezando por el chasis y el sistema de almacenamiento como se indica en la figura 4-15.

**Figura 4-15.** Proceso ensamble



Nota. Se observa en la figura 4-15 el ensamble de chasis, sistema de almacenamiento.

#### ***4.11.3. Acabado del prototipo a escala.***

Hace referencia a las tareas de ajuste, acople y tareas finales para puesta a punto del prototipo de equipo recolector y transporte de residuos aprovechables para la cooperativa de recicladores de Galindo, Neiva (Huila).

**Figura 4-16.** Integración componentes



Nota. Se observa en la figura 4-16 el prototipo acabado de sistema recolector de residuos.

## Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Las a continuación se presentan las conclusiones resultantes del desarrollo del proyecto y las recomendaciones en función de mejoras para el proceso y el proyecto, las cuales pueden ser usadas para mejorar este planteamiento inicial y de esta manera asegurar el proceso de transformación tecnológica para este prototipo propuesto.

- Simular en el Software Autodesk Inventor versión 2021, el comportamiento de equipo recolector y de transporte a nivel estructural cuando se somete a esfuerzos máximos.
- Construir un prototipo a escala de equipo recolector y de transporte para los recuperadores de la cooperativa de recicladores de Galindo en la ciudad de Neiva.

### 5.1. Conclusiones

1. El diseño y construcción del prototipo del equipo recolector contempla la capacidad prevista de 80 kg, peso del equipo de 480 kg y relación de transmisión definidos que permiten el desplazamiento y la clasificación de material.

2. Los mecanismos contemplados en el diseño del prototipo comprenden el soporte mediante monochasis plástico, el sistema de movilidad del prototipo que se compone de 4 ruedas tipo 175/65 R15, el contenedor de almacenamiento el cual tiene una capacidad de carga de hasta 300 Kg facilitando la segregación del material; en cuanto a los materiales usados en esta propuesta, su chasis está diseñado en material termoformado recuperado fabricado por la empresa Ingecol L&S, lo que lo hace sostenible y de bajo peso frente a estructuras metálicas como acero AISI 304 usado en este tipo de construcciones y el cual es 4 veces más pesada.

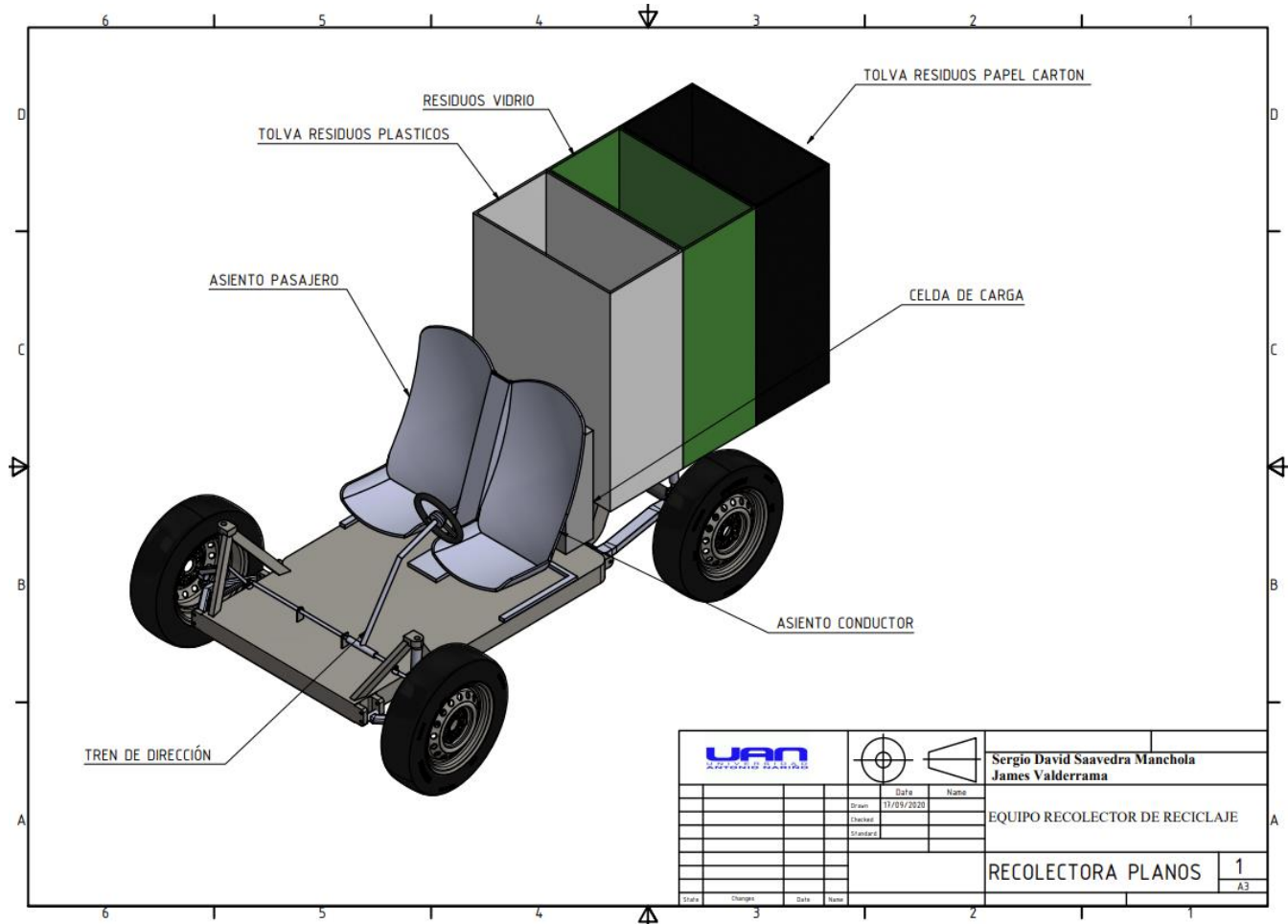
3. Al simular el comportamiento de equipo recolector y de transporte a nivel estructural cuando se somete a esfuerzos máximos, se determinó a nivel de chasis, que el esfuerzo máximo es de 37,61 MPa y se concentra sobre los apoyos de las ruedas que genera un desplazamiento máximo de 1,146 mm. El factor de seguridad de la pieza se aprecia por encima de 3,06 MPa, lo cual quiere decir que soporta 3 veces la carga a la que se está sometiendo; en conclusión, podemos decir que el prototipo recolector de residuos cumple satisfactoriamente las condiciones de carga y puede desempeñar su trabajo sin problemas.



## **5.2. Recomendaciones**

- Dada su capacidad de carga, la cual es 10 veces mayor a la actual (30 Kg), se puede considerar optimizar la mano de obra a partir de una ruta de recolección dadas las capacidades muy superiores de recolección de residuos, esto permite trazar rutas que serán aprovechadas para crear puntos de recuperación.
- Realizar un estudio para implementar materiales alternos en otros sistemas como dirección, llantas entre otras en los componentes, que sean de fácil adquisición comercial para el agricultor.
- Realizar un Manual de operación técnico, de seguridad que facilite el proceso de aprendizaje y operación de esta.

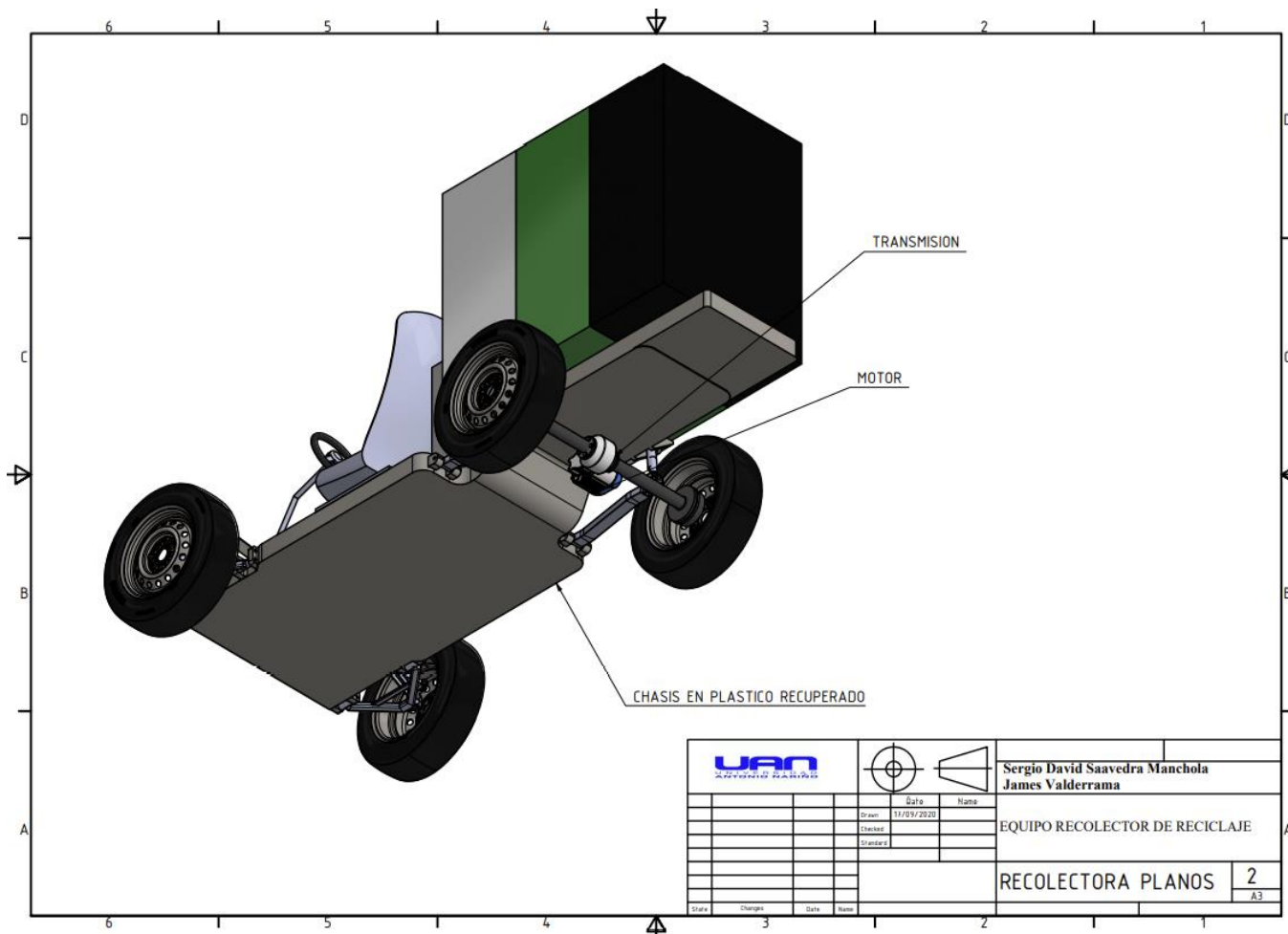
### Anexos

Anexo. 1. Isométrico prototipo vehículo recolector

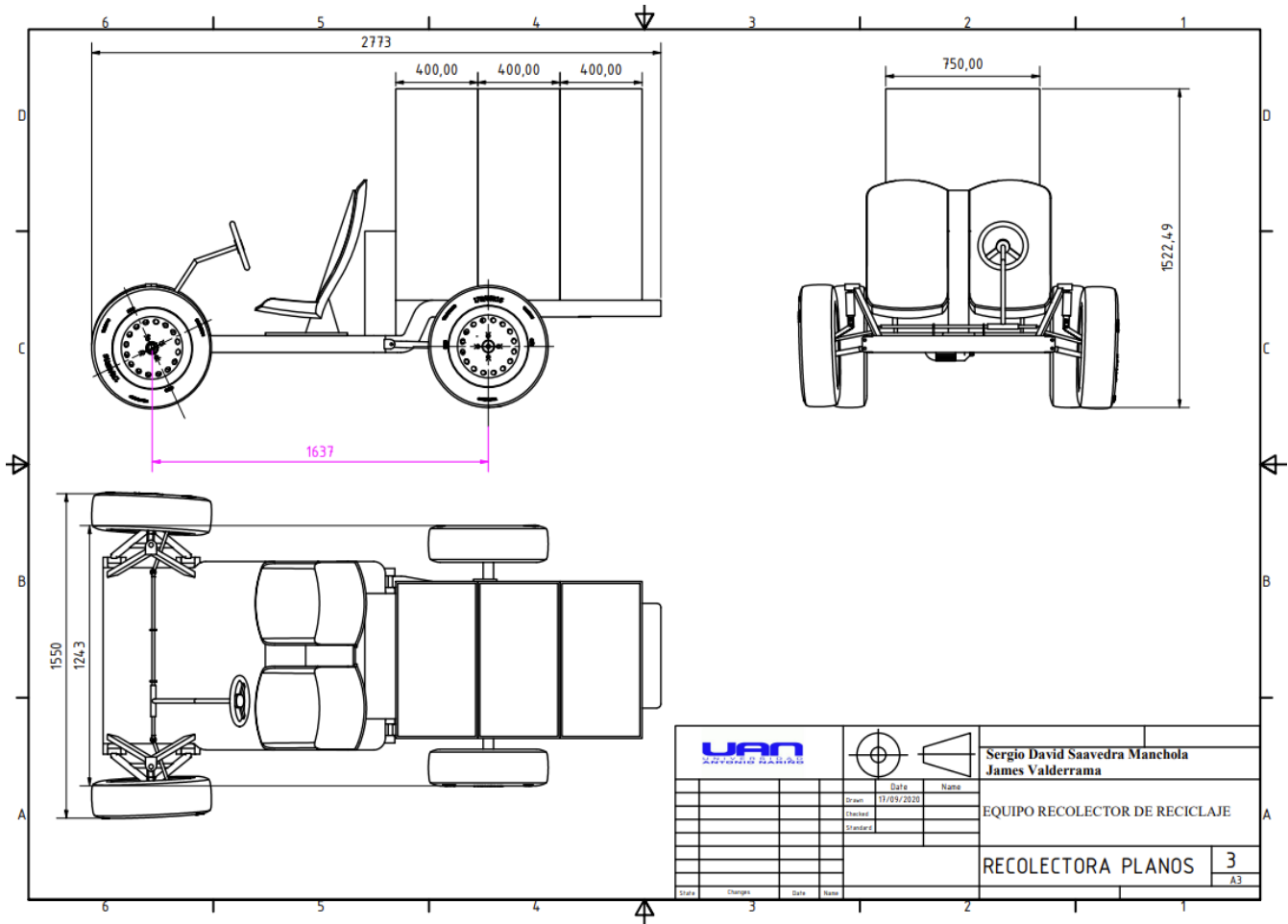


				Sergio David Saavedra Manchola James Valderrama	
				EQUIPO RECOLECTOR DE RECICLAJE	
Drawn	11/09/2020	Checked		RECOLECTORA PLANOS	
Standard				1	
Scale	Changes	Date	Name	A3	

Anexo. 2. Vista inferior vehículo recolector

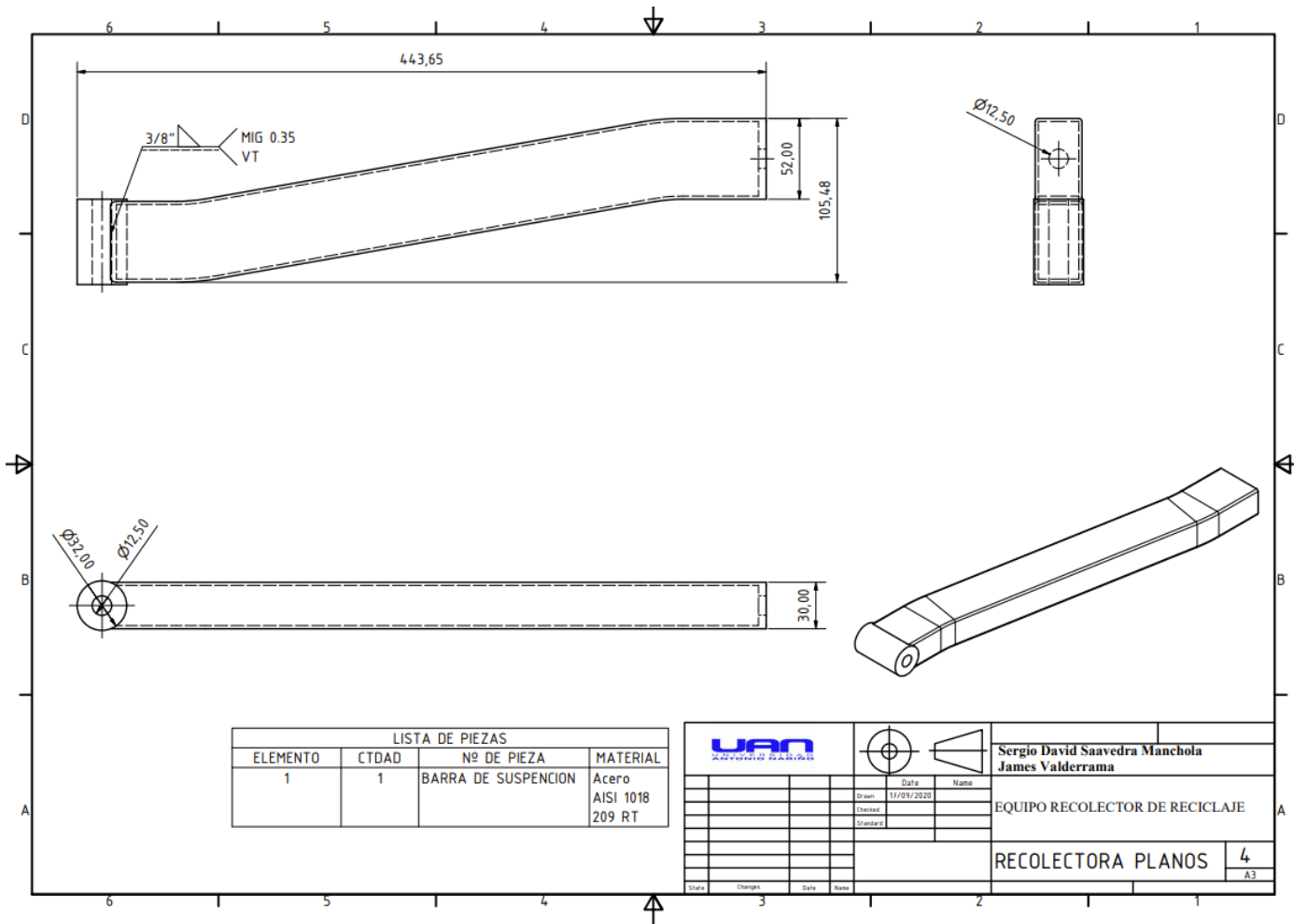


Anexo. 3. Vista lateral, frontal y vertical del prototipo

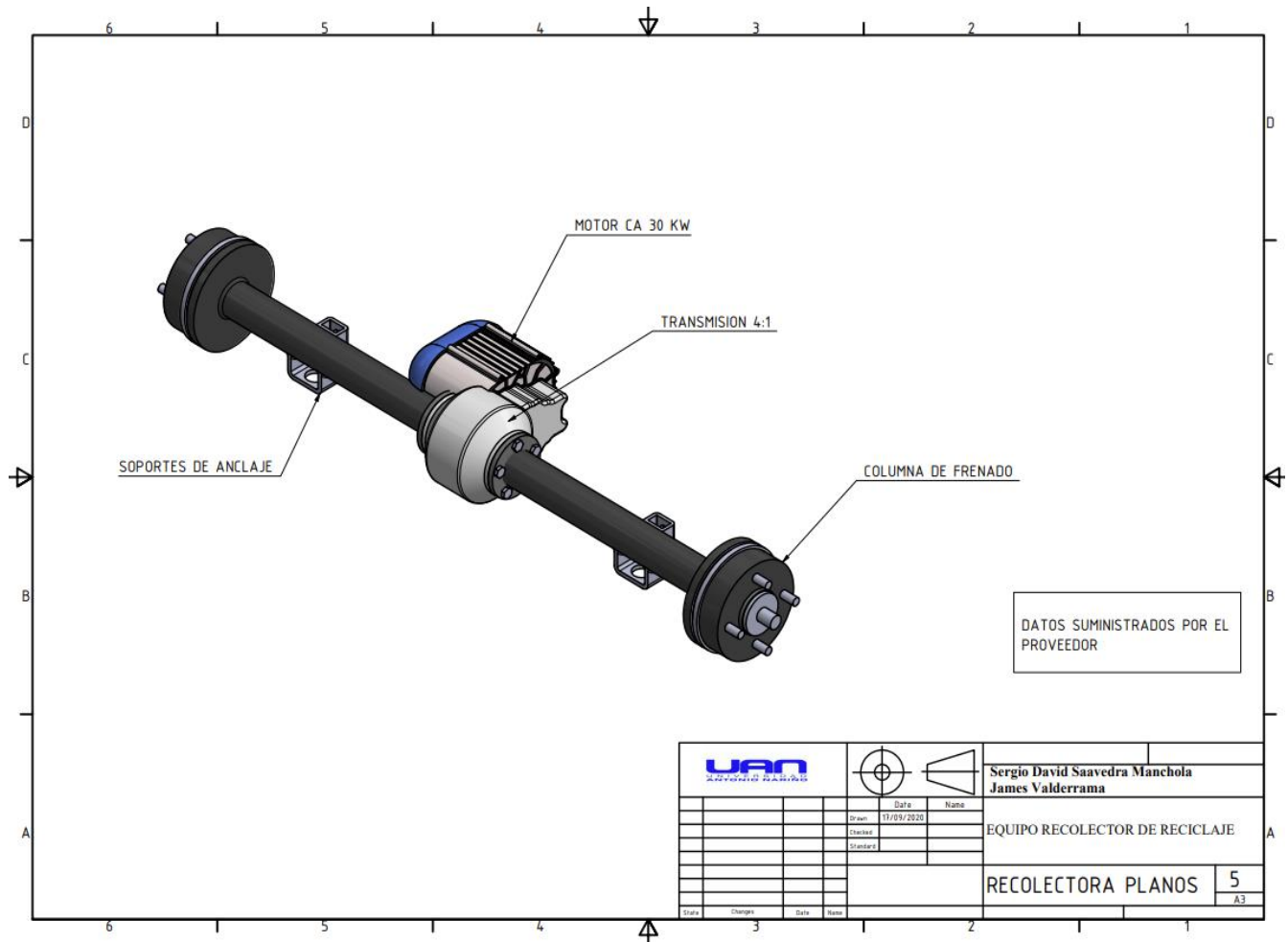






Anexo. 4, Vista lateral, frontal y vertical de barra de suspensión

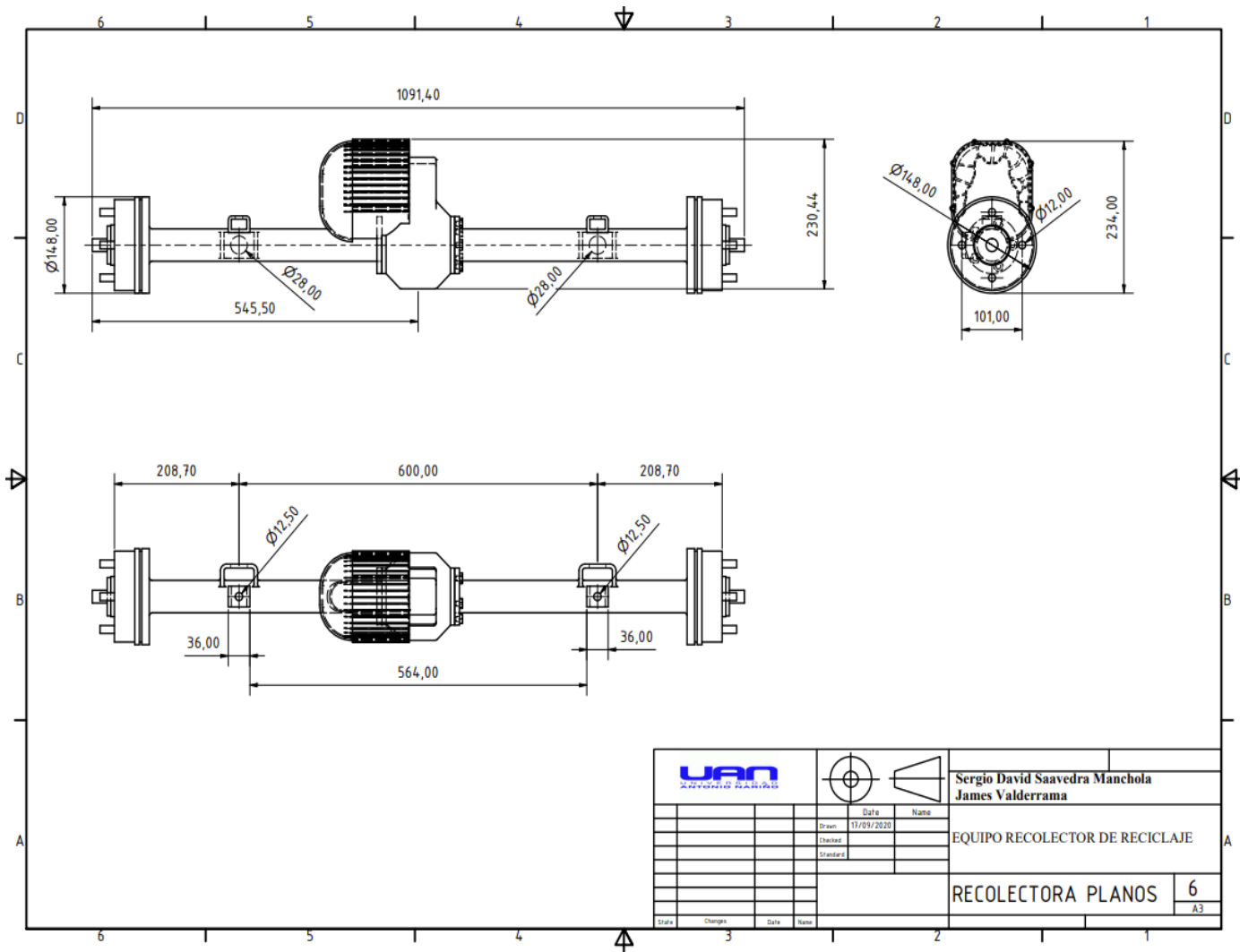


Anexo. 5. Isométrico de sistema de transmisión, motor, eje y columna de frenado

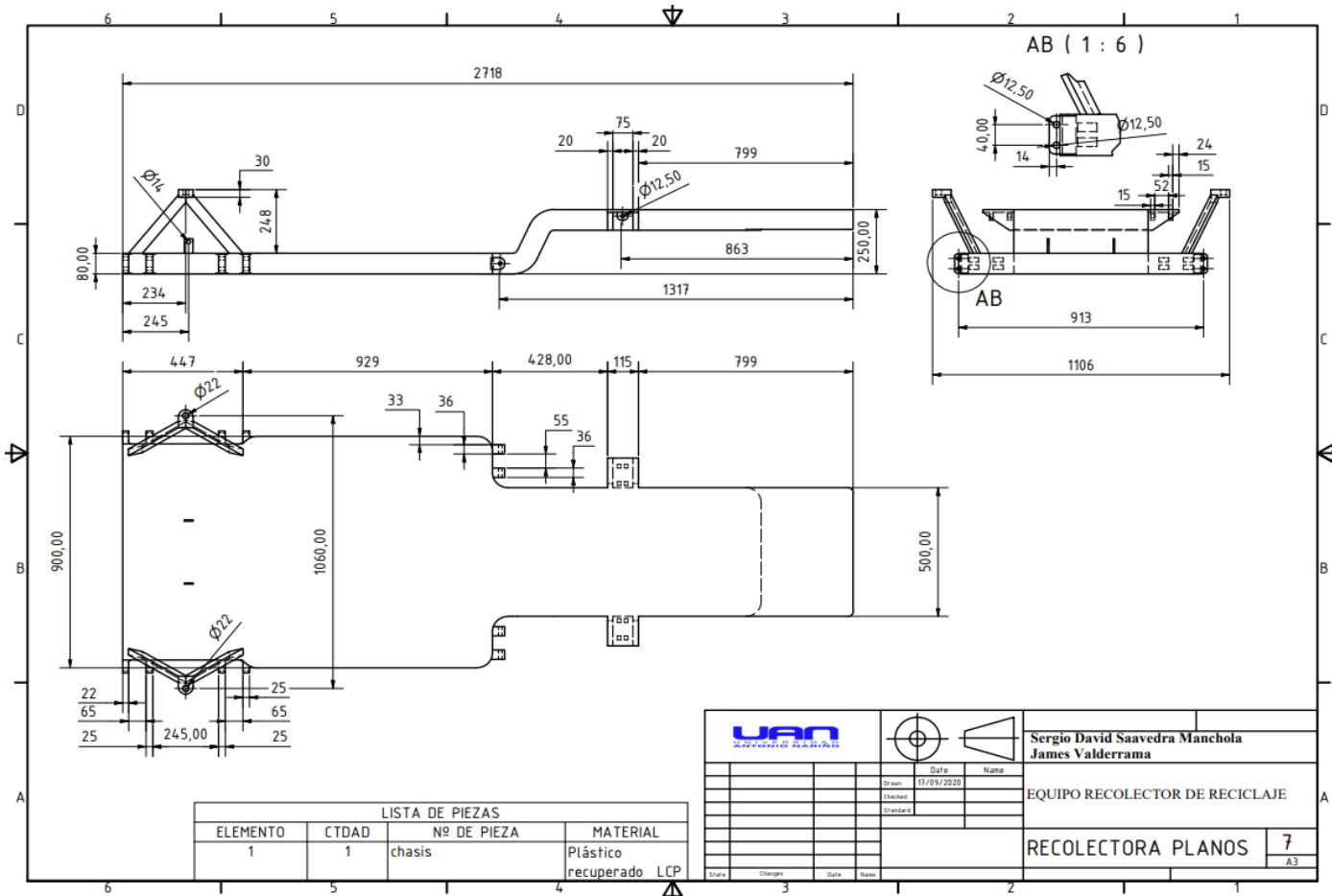


			Sergio David Saavedra Manchola James Valderrama	
			EQUIPO RECOLECTOR DE RECICLAJE	
RECOLECTORA PLANOS		5 A3		
Date 11/09/2020	Name	Drawn	Checked	
Status	Changes	Date	Name	

Anexo. 6. Vista vertical y frontal del eje y sistema de transmisión



Anexo. 7. Vista lateral, frontal y vertical de chasis



				Sergio David Saavedra Manchola James Valderrama	
Drawn	17/09/2020	Date	Name	EQUIPO RECOLECTOR DE RECICLAJE	
Checked		Standard		RECOLECTORA PLANOS	
Scale	Changes	Date	Note	7 A3	

## Referencias Bibliográficas

- ACODAL. (12 de Enero de 2020). Obtenido de <https://www.acodal.org.co/>
- Alcaldía de Neiva. (2016). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2016 - 2027*. Neiva (Colombia): Alcaldía de Neiva.
- Alcaldía de Neiva. (2022). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2028*. Neiva: Alcaldía de Neiva.
- Blanco R, M. H. (2018). *Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades e n desarrollo*. Barcelona (España): u.P. sde ataluña.
- Bustamante, A. (2014). *Diseño de un vehículo para recolección y transporte de material reciclable*. Medellín: EAFIT.
- Bustos, C. (2009). *La problemática de los desechos sólidos*. Mérida (Venezuela): Universidad de los Andes.
- Castro, J. (2021). *ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL EN EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS*. Medellín: Escuela de administración.
- Cruz, I. (2014). *Calculo del coeficiente de fricción por rodadura en un estacionamiento público usando nuevas tecnologías*. Mexico D.F.: Universidad Sonora.
- EAFIT. (28 de Junio de 2021). Recuperado el 6 de Agosto de 2022, de <https://vivirenelpoblado.com/estudiantes-de-eafit-desarrollan-un-vehiculo-de-reciclaje-kratos-postobon/>
- Hernández, C. (2020). *Identificación y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos*. Caldas: Corporación Universitaria Lasallista.
- López, J. (2015). *Alternativas para el manejo de llantas usadas en la ciudad de Bogotá*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Myszca, D. (2012). *Maquinas y mecanismos*. Mexico D.f.: Pearson, 4 ta edicion.
- Naciones Unidas de Colombia. (9 de Octubre de 2018). Obtenido de <https://nacionesunidas.org.co/noticias/un-tercio-de-los-residuos-de-america-latina->

y-el-caribe-terminan-en-basurales-o-el-medio-ambiente-advierte-nuevo-informe-de-la-onu/

ONU. (12 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>

Palacio, D. (2017). *Diseño y construcción de un prototipo de vehículo de carga para uso del reciclador informal*. Medellín: Universidad de Antioquia.

Parra, H. (12 de Agosto de 2022). Historia de los recicladores en Colombia. *Alberto, el 'peso pesado' del reciclaje en el centro*, págs. 4-5.

Peres, R. (2003). *Etapas del proceso de diseño según la norma VDI 2221*. Bogotá: Researchgate.

SL Equipos. (16 de 11 de 2021). Obtenido de <https://www.20minutos.es/imagenes/branded-content/bluemediastudio/4887516-evolucion-de-los-camiones-de-recogida-de-residuos/1/>

Superservicios. (2018). *Informe de disposición final de residuos sólidos 2020*. Bogotá: Superservicios.

Tierradentro, A. (2017). *Identification Of The State Of The Art To The Recycling Sector In Neiva Urban Area, Colombia*. Neiva (Colombia): UNAD.

Timetoast.com. (12 de Marzo de 2022). Obtenido de <https://www.timetoast.com/timelines/la-historia-del-reciclaje-7b155d11-bbd3-4151-9750-f3578c7a18af>

Transpakk. (2 de Junio de 2022). Obtenido de [file:///C:/Users/jumat/Downloads/nanopdf.com\\_equipos-recolectores-de-basura.pdf](file:///C:/Users/jumat/Downloads/nanopdf.com_equipos-recolectores-de-basura.pdf)

World Bank. (2021). *What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank.