

**SEPARACIÓN DE BOTELLAS PET POR COLORES PARA PRODUCCIÓN DE  
MATERIAL APROVECHABLE ENMARCADO EN EL PROYECTO DE  
INTEGRACIÓN “ECOCODE” DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA FILIBERTO  
RESTREPO SIERRA DE MACEO ANTIOQUIA**

**CARLOS MIGUEL HIGUITA CARMONA  
JUAN SEBASTIAN POSADA CASTAÑEDA  
NATALIA TORRES VANEGAS**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DIGITALES  
TECNOLOGÍA EN SISTEMAS MECATRÓNICOS  
MACEO ANTIOQUIA  
2025-1**

**SEPARACIÓN DE BOTELLAS PET POR COLORES PARA PRODUCCIÓN DE  
MATERIAL APROVECHABLE ENMARCADO EN EL PROYECTO DE  
INTEGRACIÓN “ECOCODE” DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA FILIBERTO  
RESTREPO SIERRA DE MACEO ANTIOQUIA**

**CARLOS MIGUEL HIGUITA CARMONA  
JUAN SEBASTIAN POSADA CASTAÑEDA  
NATALIA TORRES VANEGAS**

**Proyecto grado investigativo para optar al título de Tecnolog@ en Sistemas Mecatrónicos**

**Asesora metodológica:**

**Rosalba Ríos Galvis**

**Doctora en Estudios Organizacionales**

**Asesor Técnico**

**Edgar Alberto Betancur Cataño**

**Especialista en administración de la informática educativa**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DIGITALES  
TECNOLOGÍA EN SISTEMAS MECATRÓNICOS  
MACEO ANTIOQUIA**

**2025-1**

## Contenido

	<b>Pág.</b>
1. Planteamiento del problema .....	13
1.1 Descripción .....	13
1.2 Formulación .....	21
2. Justificación .....	22
3. Objetivos.....	25
3.1 Objetivo general.....	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
4. Referentes teóricos .....	26
4.1 Maro teórico.....	26
4.2 Marco conceptual.....	41
4.2.2 Control de movimiento.....	41
4.2.4. Botellas plásticas. ....	43
4.3 Marco histórico .....	45
4.4. Marco legal:.....	47
5. Metodología.....	49
5.2 Método.....	49
5.3 Instrumentos de recolección de información.....	49
6. Resultados.....	51
6.1. Diseño, medidas, materiales y proceso de construcción. ....	51
6.2. Distribución de componentes del proyecto. ....	62
7. Conclusiones.....	67
9. Referencias bibliográficas .....	69
10. Anexos .....	77

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1:</i> Bodega municipal de reciclaje de Maceo .....	18
<i>Figura 2:</i> Bodega municipal de reciclaje de Maceo .....	19
<i>Figura 3:</i> Bodega municipal de reciclaje de Maceo .....	19
<i>Figura 4:</i> Bodega municipal de reciclaje de Maceo .....	20
<i>Figura 5:</i> Diagrama de bloques .....	26
<i>Figura 6:</i> Sensor de color TCS3200 .....	29
<i>Figura 7:</i> Arduino Uno .....	30
<i>Figura 8:</i> Shield bornera.....	31
<i>Figura 9:</i> Motorreductor .....	31
<i>Figura 10:</i> Servomotor de rotación continua.....	32
<i>Figura 11:</i> Modulo Bluetooth HC-05 .....	33
<i>Figura 12:</i> Cojinete con rodamiento horizontal.....	34
<i>Figura 13:</i> Tuerca T8.....	35
<i>Figura 14:</i> Varilla trapezoidal M8 4 Hilos.....	35
<i>Figura 15:</i> Guía Lineal con carro x 450 mm.....	36
<i>Figura 16:</i> Acople flexible para motor.....	37
<i>Figura 17:</i> Soporte para motorreductor.....	37
<i>Figura 18:</i> Camisa para tuerca T8.....	38
<i>Figura 19:</i> Fuente suichada conmutada.....	38
<i>Figura 20:</i> Final carrera Endstop.....	39
<i>Figura 21:</i> Cable USB tipo B.....	40
<i>Figura 22:</i> Rodachín de PVC .....	40
<i>Figura 23:</i> Dimensiones de cubierta de la mesa.....	52
<i>Figura 24:</i> Patas y soporte de la mesa .....	52
<i>Figura 25:</i> Mesa terminada en fusión.....	53
<i>Figura 26:</i> Boceto a mano estructura superior .....	54
<i>Figura 27:</i> Diseño de la estructura superior .....	54

<i>Figura 28:</i> Plano Módulo frontal en madera .....	55
<i>Figura 29:</i> Plano frontal acrílico .....	56
<i>Figura 30:</i> Diseño frontal estructura con acrílico.....	56
<i>Figura 31:</i> Plano módulo lateral derecho e izquierdo .....	57
<i>Figura 32:</i> Plano acrílico lateral derecho e izquierdo .....	57
<i>Figura 33:</i> Diseño estructura con acrílico .....	58
<i>Figura 34:</i> Plano modulo inferior.....	58
<i>Figura 35:</i> Plano módulo superior.....	59
<i>Figura 36:</i> Plano acrílico superior.....	59
<i>Figura 37:</i> Diseño de estructura con acrílico .....	60
<i>Figura 38:</i> Plano modulo posterior.....	60
<i>Figura 39:</i> Plano acrílico posterior.....	61
<i>Figura 40:</i> Diseño completo de estructura de madera y acrílico.....	61
<i>Figura 41:</i> Diseño de estructura más los componentes electrónicos.....	64
<i>Figura 42:</i> Vista de la parte interna del diseño con la distribución de los componentes .....	64
<i>Figura 43:</i> Diseño final con acabado y distribución de componentes.....	65
<i>Figura 44:</i> Nuevo mecanismo de desplazamiento canoa-porta botella .....	66

## Lista de Anexos

	<b>Pág.</b>
Anexo A: Entrevista secretaria agricultura medio ambiente. (coordinadora medio ambiente)	76
Anexo B: Entrevista servicios públicos Aguas de Maceo.....	77
Anexo C: Videos demostrativo del sistema de desplazamiento por sistema péndulo.....	.80

## **Resumen**

### **SEPARACIÓN DE BOTELLAS PET POR COLORES PARA PRODUCCIÓN DE MATERIAL APROVECHABLE ENMARCADO EN EL PROYECTO DE INTEGRACIÓN “ECOCODE” DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA FILIBERTO RESTREPO SIERRA DE MACEO ANTIOQUIA**

**CARLOS MIGUEL HIGUITA CARMONA  
JUAN SEBASTIAN POSADA CASTAÑEDA  
NATALIA TORRES VANEGAS**

Este proyecto presenta el diseño y construcción de un sistema automatizado para la separación de botellas PET por color, con el fin de aprovecharlas como materia prima en la elaboración de filamento para impresoras 3D. Surge como respuesta a la problemática ambiental y educativa detectada en el municipio de Maceo, Antioquia, particularmente en la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, donde se evidencian fallas en la cultura de separación de residuos.

La propuesta combina tecnologías de control digital programable, sensórica especializada y diseño mecánico mediante software CAD. Se implementó un prototipo funcional que clasifica botellas según su color, utilizando un sensor TCS3200, un Arduino Uno, servomotores, motorreductores y un sistema de desplazamiento sobre rieles de impresora 3D. El diseño estructural fue realizado en Autodesk Fusion 360, permitiendo una distribución óptima de los componentes y la visualización previa del ensamble.

Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad del sistema, su potencial educativo y su impacto en la reducción de residuos plásticos. Se plantea como base para fases futuras orientadas a transformar las botellas clasificadas en filamento reciclado para impresión 3D, impulsando prácticas sostenibles y de economía circular.

***Palabras claves:*** Autodesk Fusion 360, sensor de color TCS3200, varilla trapezoidal, motorreductor, Madera de cedro.

## **Abstract**

### **SEPARATION OF PET BOTTLES BY COLOR FOR THE PRODUCTION OF REUSABLE MATERIAL, FRAMED WITHIN THE INTEGRATION PROJECT “ECOCODE” OF THE FILIBERTO RESTREPO SIERRA EDUCATIONAL INSTITUTION IN MACEO, ANTIOQUIA**

**CARLOS MIGUEL HIGUITA CARMONA**  
**JUAN SEBASTIAN POSADA CASTAÑEDA**  
**NATALIA TORRES VANEGAS**

This project presents the design and construction of an automated system for the classification of PET bottles by color, with the purpose of using them as raw material in the production of filament for 3D printers. It was developed in response to the environmental and educational challenges identified in the municipality of Maceo, Antioquia, specifically at the Filiberto Restrepo Sierra Educational Institution, where there is a lack of proper waste separation culture.

The proposal combines programmable digital control technologies, specialized sensors, and mechanical design using CAD software. A functional prototype was implemented, capable of identifying the color of PET bottles using a TCS3200 color sensor, controlled by an Arduino Uno, and a transport system based on 3D printer rails. The structural design was carried out using Autodesk Fusion 360, allowing for the optimized arrangement of components and prior visualization of the physical assembly.

The results demonstrate the feasibility of the system, its educational value, and its

contribution to reducing plastic waste. The project lays the foundation for future stages aimed at transforming classified bottles into recycled filament for 3D printing, thus promoting sustainable practices and circular economy principles.

**Keywords:** Autodesk Fusion 360, TCS3200 color sensor, trapezoidal rod, gear motor, cedar wood.

## Glosario

**Acrílico:** es un material plástico resistente, liviano y transparente con posibilidad de teñirse.

**Arduino Uno:** placa de desarrollo que permite programar y controlar diversos dispositivos electrónicos.

**Filamento para impresora 3D:** es un material en forma de hilo utilizado como materia prima en impresoras 3D, este puede ser de diferentes tipos de plásticos con propiedades mecánicas diferentes.

**Fusion:** es un software de diseño asistido por computadora CAD que permite modelar en 3D, generar planos en diferentes formatos incluyendo corte para laser.

**Riles de impresora 3D:** es una estructura de desplazamiento lineal que se utiliza en algunos modelos de impresoras 3D.

**Sensor de color TCS3200:** es un dispositivo electrónico que permite identificar colores a partir de la luz reflejada de los colores rojo, verde y azul, combinándolos con una matriz de fotodiodos.

## Introducción

El presente documento describe el desarrollo de un sistema automatizado para la separación de botellas plásticas por color, con el objetivo de clasificarlas como materia prima para la producción de filamento para impresoras 3D. Este proyecto fue implementado en la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, ubicada en el municipio de Maceo, Antioquia, enmarcado en el proyecto de “ECOCODE”.

La propuesta surge de la necesidad de fortalecer la cultura del reciclaje y optimizar la separación de residuos aprovechables en los entornos escolares, integrando conocimientos en la electrónica, programación y diseño. Para ello se diseñó y construyó un prototipo funcional que integra tecnologías de control digital programable como un Arduino Uno, se implementa sensorística especializada donde se emplea un sensor de color TCS3200 y un sistema de desplazamiento basado en rieles de impresora 3D, y una estructura fabricada en madera de cedro y cubierta en acrílico, modelada previamente en Autodesk Fusion 360.

En este documento se presenta el desarrollo completo del proyecto, iniciando por la identificación del problema hasta la solución propuesta. Asimismo, se describen los fundamentos técnicos que los sustentan, así como las etapas de diseño y construcción del prototipo. Además, se incluyen los resultados obtenidos y conclusiones generales, con el fin de mostrar el impacto y la utilidad del sistema dentro de los entornos educativos y su aporte a una cultura de reciclaje más consciente.

## 1. Planteamiento del problema

### 1.1 Descripción

El polietileno tereftalato (PET) es un plástico ampliamente utilizado en textiles, envases y aplicaciones industriales debido a su ligereza, resistencia y transparencia. Sin embargo, su impacto ambiental y toxicidad han generado creciente preocupación. El PET se encuentra en aguas subterráneas, agua potable, suelos y sedimentos, y con el tiempo se fragmenta en microplásticos y nano plásticos que pueden acumularse en ecosistemas terrestres y acuáticos.

Su degradación por exposición solar, reacciones químicas y procesos biológicos puede liberar compuestos tóxicos, incluidos metales pesados como el antimonio, que pueden migrar al agua embotellada. En cuanto a la salud humana, la exposición al PET y sus derivados se produce principalmente por ingestión e inhalación. Se ha encontrado que los microplásticos pueden afectar el tracto gastrointestinal y liberar aditivos químicos con efectos disruptores endocrinos. Estudios han demostrado que el PET puede reducir la migración y proliferación de células madre mesenquimales y progenitoras endoteliales en humanos, lo que sugiere un posible impacto en la regeneración celular y la función vascular. También se ha asociado con problemas metabólicos y toxicidad a nivel celular en diversas especies animales. Aunque su reciclaje y degradación pueden realizarse mediante métodos físicos, químicos y biológicos, la gestión de residuos sigue siendo un desafío. Se requieren soluciones innovadoras para mitigar su impacto, incluyendo el desarrollo de alternativas biodegradables y una mayor eficiencia en su reutilización y eliminación (Vaishali y otros, 2022).

Según en el artículo científico publicado en la revista *Science of the total Environment*; los microplásticos de PET han sido detectados en diversas fuentes ambientales, incluyendo agua potable (tanto embotellada como del grifo), alimentos como la sal de mesa, el azúcar, la miel, la cerveza y productos del mar, así como en el aire; lo que indica que la exposición a estos contaminantes es constante y generalizada. Se estima que los humanos pueden ingerir entre

39,000 y 52,000 partículas de microplásticos al año, dependiendo de factores como la dieta, el estilo de vida y el entorno en el que viven. Estudios han encontrado que los microplásticos de PET no solo se acumulan en el tracto digestivo tras la ingestión, sino que también pueden atravesar las barreras biológicas y distribuirse en distintos órganos. En estudios con roedores, se ha detectado la presencia de microplásticos en el cerebro, pulmones, riñones, hígado, bazo, sistema reproductivo, placenta e incluso en tejidos fetales, lo que sugiere que pueden afectar el desarrollo prenatal. Además, investigaciones recientes han demostrado que los microplásticos pueden entrar en el torrente sanguíneo humano, siendo el PET uno de los polímeros más frecuentemente encontrados en la sangre.

Los efectos tóxicos de los microplásticos incluyen la inducción de estrés oxidativo, un proceso que genera un desequilibrio en las células debido a un exceso de radicales libres, lo que puede provocar daño celular y envejecimiento prematuro. Asimismo, los microplásticos pueden causar inflamación crónica al activar respuestas inmunitarias prolongadas, lo que está relacionado con enfermedades metabólicas, cardiovasculares y neurodegenerativas. También se ha observado que estos contaminantes pueden inducir citotoxicidad, es decir, toxicidad a nivel celular, afectando la viabilidad y funcionalidad de las células expuestas, lo que podría contribuir a la aparición de enfermedades crónicas y alteraciones en órganos clave (Mierzejewski y otros, 2023).

El consumo de PET varía significativamente entre las diferentes regiones del mundo. En los Emiratos Árabes Unidos (EAU), cada ciudadano consume aproximadamente 450 botellas de plástico al año, y se estima que el consumo total de agua embotellada alcanzará los 1.153 millones de litros en 2025, con un crecimiento anual del 1.4%. China es el mayor productor de desechos plásticos a nivel mundial, generando 59.08 millones de toneladas anuales, seguida de Estados Unidos con 37.83 millones de toneladas. India también contribuye significativamente con 4.49 millones de toneladas de residuos plásticos al año. Otros países como Indonesia, Vietnam y Filipinas representan el 10% y 6% del total mundial, respectivamente, mientras que Egipto, Nigeria y Turquía generan entre el 2.7% y el 3% de los residuos plásticos globales (Ajaj y otros, 2022).

El informe "Gestión de Residuos Plásticos y Fugas en América Latina y el Caribe" analiza la producción, gestión y fuga de residuos plásticos en la región. Hasta 2017, se habían producido 8.300 millones de toneladas métricas de plástico a nivel mundial, de las cuales el 40% se destinó a productos de un solo uso, generando 6.400 millones de toneladas métricas de desechos. De estos, solo el 9% se realizó globalmente.

En América Latina y el Caribe (ALC), con una costa de 119.000 km y más de 205 millones de personas viviendo a menos de 50 km de ella, la infraestructura para la gestión de residuos aún está en desarrollo en muchos países. Esta situación puede conducir a un aumento en la fuga de plásticos al medio ambiente. Se estima que, en 2020, 3,7 millones de toneladas métricas de residuos plásticos estuvieron disponibles para ingresar al océano desde la región. Si no se implementan cambios significativos, se proyecta que esta cifra aumente a 4,1 millones en 2030 y a 4,4 millones en 2050 (Brooks y otros, 2020).

De igual manera la contaminación por plásticos en Colombia es una problemática creciente que afecta tanto al medio ambiente como a la salud de las personas. El 99% del plástico producido proviene de combustibles fósiles como el petróleo y el gas, lo que no solo agrava la crisis climática, sino que también impacta a comunidades y ecosistemas. En las costas del país, especialmente en el Pacífico y el Caribe, se han encontrado hasta 8.000 microplásticos por metro cuadrado de playa, afectando la biodiversidad marina y poniendo en riesgo a más de 690 especies (GREENPEACE, 2024).

A nivel nacional, cada colombiano desecha aproximadamente 24 kilos de plástico al año, lo que representa 1.250.000 toneladas de residuos plásticos, de los cuales el 56% corresponde a plásticos de un solo uso. Además, el 74% de los envases plásticos termina en rellenos sanitarios, lo que evidencia una gestión inadecuada de estos residuos. Ante esta crisis, Greenpeace Colombia ha liderado diversas iniciativas, como su participación en las negociaciones para un Tratado Global sobre Plásticos y la campaña "Protege el Pacífico Colombiano", que ha denunciado la grave contaminación en la Isla de Malpelo. Como solución, Greenpeace propone reducir la producción y el consumo de plásticos de un solo uso, impulsar políticas públicas que regulen su fabricación y fomentar modelos de consumo más sostenibles. La implementación de

estas medidas es crucial para disminuir la contaminación plástica y proteger tanto los ecosistemas como la salud humana (GREENPEACE, 2024).

El departamento de Antioquia se evidencia una crisis en la disposición de los residuos sólidos, donde el relleno sanitario La Pradera recibe 3.300 toneladas de basura diarias de 40 municipios, cuando solamente debería recibir de los 10 municipios del Valle de Aburrá, esto es a causa, que los demás municipios de las subregiones se están quedando sin rellenos sanitarios, que en la última década han ido colapsando uno a uno. Sumado a lo que recibe La Pradera, en total en Antioquia se produce alrededor 5.000 toneladas de basuras diarias. El oriente antioqueño es una de las regiones más emproblemadas frente a la gestión de residuos, de los cuales 14 municipios se quedaron sin margen o lo harán dentro de cuatro años. En el occidente cercano la problemática es similar de 10 municipios solo 4 tienen rellenos con licencia.

A pesar de que se ha realizado proyectos para establecer rellenos sanitarios regionales estos han sido frenados por falta de requisitos, deficiencias y vacíos en los estudios e información requerida, además la autoridad ambiental les recordó a los municipios que antes de pensar en nuevos rellenos se deben demostrar resultados en los planes para la gestión de residuos y reducir la cantidad de basura (Zuleta Valencia, 2022).

Por otro lado “En el Área Metropolitana del Valle de Aburrá “que es una entidad administrativa de derecho público que asocia a 10 municipios , que tiene a Medellín como la ciudad núcleo, alrededor de la cual están conurbados los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, Sabaneta, Envigado, La Estrella y Caldas” (Área Metropolitana de valle de Aburrá, 2019); se generan diariamente más de 3.000 toneladas de residuos, de los cuales el 34% son plásticos potencialmente reciclables. Se enfatiza la problemática ambiental del plástico de un solo uso y su impacto en los océanos. Autoridades locales promueven el uso responsable del plástico y alternativas reutilizables para reducir la contaminación (Tapias, 2024).

En el municipio de Maceo, Antioquia, que hace parte de la subregión del Magdalena medio, sus primeros pobladores fueron aborígenes pertenecientes a las etnias Amanés y Pantágoras, mismos que se dedicaban a las actividades mineras y agricultura. En 1942 por presión de los

pobladores el municipio se independiza y obtiene el título de municipio. En la actualidad el municipio basa su economía en cacao, ganadería, café, caña, madera. Para el año 2023 el municipio de Maceo tiene una población de 8.646 habitantes y cuenta con tres corregimientos, Puerto Nus, la Floresta y la Susana, y 20 veredas (Gobernación de Antioquia, s.f.).

Así mismo, según entrevista realizada a la coordinadora de medio ambiente de la secretaría de agricultura municipal, se ha evidenciado que la problemática principal del municipio es que las personas todavía les falta más sentido de cultura y pertenencia con la recolección de los residuos, últimamente ha ido mejorando. En Maceo hay rutas selectivas, lunes y jueves se hace la recolección de residuos aprovechables (reciclaje) y martes y viernes se hace la recolección de basura; la problemática es que muchas personas sacan los residuos aprovechables mezclados con la basura los días que no son, también la mala disposición de los residuos en el sector villas del ensueño donde no solo la comunidad de ahí saca la basura o los residuos los días que no son, sino también gente de sectores aledaños van y los depositan allá (Henao, 2025).

Hay 27 puntos críticos en el municipio identificados hasta el momento. En la página de la alcaldía se hizo una publicación donde se estaban recogiendo residuos en uno de estos puntos críticos para que la gente tome más conciencia. Hace 6 años se manejaba el grupo de recuperadoras, son 3 señoras las cuales hacían la labor de recolección del reciclaje (residuos aprovechables) y hace un mes pasaron a la empresa de Aguas de Maceo; dado que Aguas de Maceo es quien finalmente nos ejecuta toda el área del aseo del municipio. Hubo una mejora, el reciclaje que se vende se le hace un informe cada 3 meses a Corantioquia y se ha evidenciado que hay una mejora (Henao, 2025).



*Figura 1:* Bodega municipal de reciclaje de Maceo

Fuente: elaboración propia.

Como resultado de entrevista en Aguas de Maceo S.A.S. E.S.P. encargados de los servicios públicos domiciliarios se encuentra que, a pesar de las diferentes campañas realizadas por parte de la entidad y la secretaria de agricultura, los usuarios no respetan los horarios ni los días establecidos para la recolección de residuos y materiales reciclables. De igual manera se evidencia que no se hace una separación adecuada de los residuos y que son depositados en lugares no autorizados, esto genera la proliferación de roedores en la bodega de almacenamiento y en los puntos de reciclaje. Adicionalmente no se cuenta con los recursos necesarios para realizar las campañas de sensibilización y capacitación a los usuarios (Muñoz, 2025).



*Figura 2:* Bodega municipal de reciclaje de Maceo  
Fuente: Elaboración propia



*Figura 3:* Bodega municipal de reciclaje de Maceo  
Fuente: elaboración propia



*Figura 4:* Bodega municipal de reciclaje de Maceo

Fuente: elaboración propia

Esta problemática afecta a la Institución educativa Filiberto Restrepo Sierra que nació por iniciativa de dos presbíteros Víctor Yepes y Hernando Sierra al ver que los niños salían de básica primaria y no podían continuar con sus estudios a falta de recursos económicos, con 30 estudiantes se inició el 1° de básica secundaria el 8 de febrero de 1964. Para el año 2022 la Institución tiene matriculados un total de 692 estudiantes en jornada diurna y 86 estudiantes en la jornada nocturna, cuenta con tres sedes en el área urbana, donde la sede A imparte de tercero a quinto primaria, la sede B de preescolar a segunda primaria y la sede C imparte, básica secundaria y media académica (I E Filiberto Restrepo Sierra, 2022).

La Institución Educativa implementa el decreto 1743 de 1994, *“por el cual se instituye el Proyecto de Educación Ambiental para todos los niveles de educación formal, se fijan criterios para la promoción de la educación ambiental no formal e informal y se establecen los mecanismos de coordinación entre el Ministerio de Educación Nacional y el Ministerio del Medio Ambiente”*. Incluye en sus currículos la dimensión ambiental a partir de proyectos ambientales PRAE (proyectos ambientales escolares), como estrategia educativa para la solución de la problemática ambiental de la región con el trabajo desarrollado desde el aula de clase, siendo necesario concientizar a la población estudiantil con el fin de que proyecten en sus hogares y la comunidad en general la necesidad de conservar y proteger el medio ambiente para

las futuras generaciones (I E Filiberto Restrepo Sierra, 2022).

Según la información proporcionada por el profesor Nelson Arango de la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, el proyecto como tal inicia aproximadamente en febrero de 2023; se inicia con el grupo 5°2, el cual tenía 28 estudiantes. El proyecto surge cuando algunos de los estudiantes observan que hay unos lugares para depositar las botellas plásticas pero que la mayoría de los estudiantes no hacían uso de estos recipientes, sino que las tiraban en las canecas de la basura.

Se ha observado que en la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra en muchas ocasiones los estudiantes no tienen en cuenta las canecas dedicadas para el reciclaje, arrojándolo en la primera caneca de basura que encuentren, por lo que se desaprovechan las botellas PET. Con este proyecto se plantea un mejoramiento o beneficio tanto para la Institución como para los estudiantes; dado que la Institución pasará a estar más limpia y puede aprovechar estos materiales reciclados. Los estudiantes igualmente se benefician porque obtienen y acumulan puntos al depositar estas botellas y así redimir esos puntos al final del periodo.

## **1.2 Formulación**

¿Cómo puede diseñarse y desarrollarse un sistema automatizado de separación y clasificación de botellas recicladas de PET, utilizando tecnologías de control digital programable y sensórica especializada, para optimizar su uso como materia prima en la fabricación de filamento para impresoras 3D?

## 2. Justificación

El presente proyecto se desarrolla en el marco de la formación como Tecnólogo en Sistemas Mecatrónicos, con el objetivo de aplicar y consolidar los conocimientos adquiridos a lo largo del programa académico. La implementación de una máquina separadora de botellas PET mediante un sensor de color y rieles lineales representa un desafío técnico que permite la integración de diversas disciplinas, como la automatización, la mecánica y la electrónica, promoviendo así el desarrollo de competencias esenciales para el ejercicio profesional en el campo de la mecatrónica.

Este proyecto se considera innovador debido a su enfoque automatizado para la clasificación de residuos plásticos, un aspecto fundamental en la gestión ambiental y la economía circular. A diferencia de los métodos tradicionales de separación manual, esta máquina optimiza el proceso, reduciendo tiempos y mejorando la eficiencia en la reutilización de materiales. La economía circular busca minimizar el desperdicio y maximizar la reutilización de recursos mediante estrategias como el reciclaje y la remanufactura, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico (Fundación Ellen MacArthur, 2013). Además, su diseño adaptable y accesible puede servir como referencia para futuras mejoras y aplicaciones en el ámbito industrial y académico.

El impacto de este proyecto es significativo en diferentes niveles. Para los estudiantes de la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, representa una oportunidad de aprendizaje práctico, fomentando el desarrollo de habilidades técnicas y la capacidad de resolución de problemas en escenarios reales. En el municipio de Maceo y sus regiones aledañas, la implementación de esta tecnología contribuye a la promoción de prácticas sostenibles, incentivando la conciencia ambiental y facilitando la recolección y procesamiento de residuos plásticos. Asimismo, su posible adopción en otras comunidades y sectores industriales puede generar beneficios en términos de reducción de contaminación y aprovechamiento eficiente de los recursos.

De igual manera en el proyecto de investigación planteado por los estudiantes de la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra del municipio de Maceo, a causa de una problemática relacionada con la prácticas de recolección y separación de basuras, aunque se han realizado campañas de sensibilización, se evidencia la falta de conciencia ambiental y participación, que ha perdurado en el tiempo entorpeciendo la disposición y separación de los residuos, afectando tanto a estudiantes, docentes y personal administrativo; evidenciando la necesidad de generar nuevas propuestas que incentiven a los estudiantes de manera activa y participativa. (Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, 2023).

A raíz de la convocatoria del programa ONDAS, la Institución Educativa decide participar con una propuesta que ayuda a mitigar la problemática de separación de los residuos, siendo seleccionada para el apoyo y asesoría; los estudiantes de la Institución Educativa proponen la idea de una máquina separadora de botella por colores, donde, por cada una que deposite el estudiante, esta le otorgue puntos, que al final serán liberados en incentivos académicos. (Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, 2023).

El implementar este tipo de tecnologías presenta varios beneficios tanto ambientales como económicos. Al reciclar las botellas PET, se pueden crear nuevos productos como fibra de poliéster, láminas, empaques termoformados y filamento para impresiones en 3D, al realizar este tipo de prácticas se reduce la necesidad de producir plástico nuevo, reduciendo las emisiones de gas de efecto invernadero y el uso de recursos naturales. El efectuar este tipo de prácticas ofrece una solución factible y provechosa para reducir la contaminación y fomentar prácticas sostenibles (Gómez & Guillermo, 2016).

De igual forma este tipo de tecnología permite agilizar la separación de las botellas PET, ya que agiliza la discriminación de las botellas por color, de forma automatizada reemplazando la separación mecánica, reduciendo los tiempos de separación. Para este caso en específico se realiza la separación de las botellas PET transparente y oscura, no se tendrá en cuenta las tonalidades de las botellas transparentes que pueden ser, transparente puro, amarillento, tonalidad verdosa o ligeramente tintada, considerando que su disposición final es ser reciclado para filamento de impresora 3D y la mezcla de estas diferentes tonalidades no perturba la calidad del

filamento.

Finalmente, la ejecución del presente proyecto no se limita únicamente a la clasificación de botellas PET según su color, sino que también pretende incentivar una participación activa y directa en los procesos de transformación de materiales reciclables. Asimismo, busca fortalecer la conciencia ambiental tanto de los estudiantes como en la comunidad en general, mediante la promoción de prácticas asociadas al consumo circular. Esta iniciativa se enmarca en los principios del desarrollo sostenible, al contribuir a la gestión responsable de los recursos y a reducción del impacto ambiental.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar un sistema de separación de botellas recicladas PET, para su respectiva clasificación, utilizando tecnologías de control digital programable y sensórica especializada, con el fin de utilizarse como materia prima para la elaboración de filamento en impresoras 3D.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Detallar los procesos y componentes necesarios para la separación de botellas por colores, incluyendo estructura de soporte, tipos de sensores, motores o servomotores, controladores y software de control.

Establecer el diseño en software CAD el prototipo de reconocimiento del color y el transporte de las botellas seleccionadas.

Determinar el canal de comunicación entre el usuario y el sistema de control Arduino para que este accione la compuerta de ingreso de la botella PET al sistema para hacerle su respectiva lectura de color.

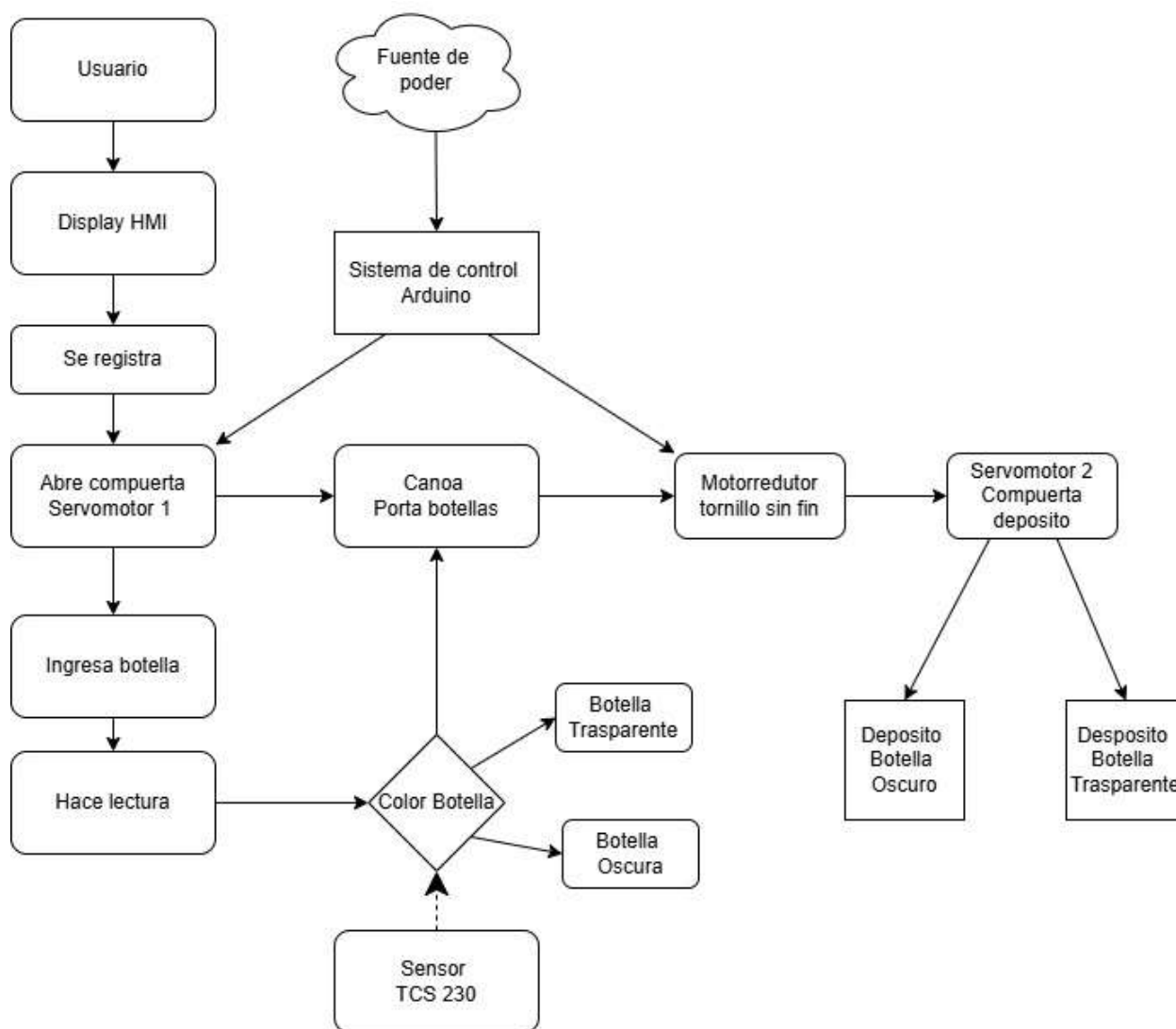
Definir el sensor que permita distinguir el color de la botella PET y este envíe la información al sistema de control de Arduino, para activar el motor que conecta el tornillo sinfín y permita realizar la deposición del sitio indicado y se realice una separación satisfactoria.

Construir el prototipo del separador de botellas PET por colores.

## 4. Referentes teóricos

### 4.1 Maro teórico

- Diagrama de bloques: se explica la relación y el funcionamiento entre el usuario y la electrónica implementada.



*Figura 5:* Diagrama de bloques

Fuente: elaboración propia.

La estructura del sistema constituye el soporte físico que aloja todos los componentes

electrónicos y mecánicos del proyecto, brindando estabilidad, protección y una base adecuada para su funcionamiento. En este caso, se optó por construir la estructura utilizando madera de cedro, debido a sus propiedades físicas, económicas y de disponibilidad local.

La madera de cedro es reconocida por su resistencia natural a la deformación, estabilidad dimensional y facilidad de trabajo, lo que la convierte en un material ideal para aplicaciones estructurales ligeras y prototipos (The Engineering ToolBox, 2004). A diferencia de materiales como el acero, el cedro ofrece una solución más económica, ligera y accesible, especialmente en comunidades donde es común encontrar carpinterías locales capacitadas para trabajar la madera. Este factor facilita la fabricación, reparación y adaptación del sistema sin depender de infraestructura industrial.

Otra ventaja relevante de la madera es su capacidad de amortiguación de vibraciones, lo cual mejora la estabilidad del sistema durante el funcionamiento de motores y desplazamientos sobre los rieles (Ecuador) & FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014). Además, su versatilidad permite realizar ajustes o modificaciones estructurales con herramientas comunes, lo que resulta práctico en fases de diseño y pruebas.

Como parte del diseño estructural, se añadió acrílico de 5 mm para complementar la estructura de madera, aportando una barrera protectora y al mismo tiempo permitiendo la observación del sistema en funcionamiento. El acrílico, también conocido como polimetilmetacrilato (PMMA), es un material termoplástico ampliamente utilizado en estructuras y recubrimiento de dispositivos electrónicos debido a su combinación de resistencia, estabilidad química, propiedades mecánicas, transparencia y facilidad de mecanizado (Rapid direct, 2025).

Una de las ventajas del acrílico es que ofrecen una claridad óptica comparable a la del vidrio, pero con un peso más ligero y una mayor resistencia al impacto. El acrílico se utiliza en diversas industrias, como la arquitectura, la automoción, la señalización, las pantallas e incluso en aplicaciones médicas como prótesis dentales y lentes de contacto. Lo cual lo hace adecuado para proyectos educativos por su capacidad para combinar protección mecánica y visibilidad, donde los estudiantes pueden ver el sistema en funcionamiento sin poner en riesgo su integridad ni la de

los componentes (Ruitai Mould, 2025).

Para el diseño de la estructura del prototipo, se usó el software de Autodesk fusión 360, una plataforma de diseño de modelado 3D que permite diseñar, validar y fabricar productos. Autodesk fusión, combina herramientas CAD (diseño asistido por computadora), CAM (fabricación asistida por computadora), CAE (análisis asistido por computadora y diseño electrónico (PCB) en un solo entorno basado en la nube. Esta integración permite realizar diseños paramétricos, simulaciones mecánicas, ensambles y generar planos listos para fabricación (Autodesk, 2025).

La implementación de Autodesk fusión facilitó la creación de un modelo tridimensional detallado de la estructura de madera, permitiendo visualizar y ajustar la distribución de los componentes electrónicos dentro del prototipo. Además, se generaron planos precisos para la construcción de la estructura de madera y para los cortes del acrílico, asegurando que las dimensiones y las formas se ajustaran exactamente a las necesidades del diseño, optimizando el uso de materiales y prever interferencias antes de la construcción física del prototipo, lo cual reduce errores y mejora la eficacia del proceso de desarrollo.

A continuación, se describen los siguientes componentes utilizados en sistema de separación de botellas PET.

- Módulo Sensor de Color TCS3200:
  - Voltaje de la operación: 2.7V a 5.5V
  - Alta Resolución de conversión de la intensidad de luz a frecuencia.
  - Leds incluidos en el PCB para iluminar el objeto a reconocer.
  - Leds incluidos en el PCB para iluminar el objeto a reconocer.

El sensor de color TCS3200 es un dispositivo electrónico que mide la intensidad de color en objetos o superficies. Se usa en sistemas de clasificación de colores, robots detectores de color y para calibrar colores en la industria de la impresión (Bigtronica, 2015).



*Figura 6:* Sensor de color TCS3200

Fuente: tomado de <https://www.bigtronica.com/sensores/luz/827-sensor-de-color-tcs3200-5053212008277.html>

- Arduino uno R3:
  - Microcontrolador: ATmega328P.
  - Velocidad de reloj: 16 MHz.
  - Voltaje de trabajo: 5V.
  - Voltaje de entrada: 7,5 a 12 voltios.
  - Pinout: 14 pines digitales (6 PWM) y 6 pines analógicos.
  - 1 puerto serie por hardware.
  - Memoria: 32 KB Flash (0,5 para bootloader), 2KB RAM y 1KB Eeprom.
  - Dimensiones: 69 x 47 x 6 mm
  - Peso: 44 gramos

Es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar (Arturocaicedoc, 2025).



*Figura 7:* Arduino Uno

Fuente: tomado de <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.firtec.com.ar%2Fcms%2F10-notas-tecnicas%2F64-como-funciona-arduino-ii&psig=AOvVaw0tC80eO2zdIVyCIBgHo6Lf&ust=1749703424913000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=0CBQJRxqFwoTCKju0a3H6I0DFQAAAAAdAAAAABAL>

- Shield Bornera Tornillo Prototipo Pcb Arduino Uno:
- - Compatible con Arduino Uno, Mega, Leonardo.
  - Pulsador de reset.
  - Led de Pin13.
  - Hedaer Hembra para todos los pines.
  - Borneras para todos los pines.

La plataforma Arduino ha permitido que muchas personas se inicien en el mundo la electrónica, esto gracias a lo sencillo que es programar en Arduino. Prototipar el hardware es tal vez lo que más tiempo tome, más aún migrar del ProtoBoard a una PCB. Para solucionar este es muy útil un Shield borneras terminales UNO, un shield que monta una placa perforada para diversas conexiones eléctricas que facilitarán el trabajo de desarrollar tu propio circuito con Arduino (Naylamp Mechatronics, 2023).



*Figura 8:* Shield bornera

Fuente: tomado de <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-shields/703-shield-borneras-terminales-uno.html>

- Motorreductor: 6-12VDC 150RPM 27Kg/cm (Engranaje helicoidal):
  - Voltaje de funcionamiento: 12V.
  - Velocidad sin carga (12V): 150 RPM.
  - Corriente sin carga (12V): 0.15A, 5.5A(stall).
  - Torque a máxima eficiencia: 3.2Kg-cm.
  - Torque Stall(12V): 27 kg-cm (380 oz-in).
  - Máxima potencia de salida (12V): 10W.
  - Medidas: 37D x 54L mm.
  - Eje: diámetro: 6 mm en forma de D.
  - Peso: 190g



*Figura 9:* Motorreductor

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/pol-4744-motorreductor-6-12vdc-150rpm-27kg-cm-engranaje-helicoidal-14364#attr=3164,3165,3170,3166,3167,3171,3168,3169>

- Servomotor rotación continua 4.8-6v 3.3Kg/cm (Ref POL-1248):
  - Voltaje de alimentación: 4.8V ~ 6V.
  - Velocidad sin carga(6V): 54 RPM (0.18 sec/60°).
  - Velocidad sin carga (4.8V):43 RPM (0.23 sec/60°).
  - Torque (6V): 5.1Kg cm (71 oz-in).
  - Torque (4.8V): 3.3 Kg cm (46 oz-in).
  - Ángulo de rotación de 360°.
  - Peso: 41g.
  - Dimensiones:41.3 x 20.7 x 40.2mm.



*Figura 10:* Servomotor de rotación continua

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/pol-1248-servomotor-rotacion-continua-4-8-6v-3-3kg-cm-3146#attr=>

- Modulo bluetooth HC-05:
  - Voltaje de operación: 3.6V - 6V DC.
  - Consumo corriente: 50mA.
  - Bluetooth: V2.0+EDR.
  - Frecuencia: Banda ISM 2.4GHz.
  - Modulation: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying).
  - Potencia de transmisión: 4dBm, Class 2.

- Sensibilidad: -84dBm a 0.1% VER.
- Alcance 10 metros.
- Interface comunicación: Serial TTL.
- Velocidad de transmisión: 1200bps hasta 1.3Mbps.
- Baudrate por defecto: 38400,8,1,n.
- Seguridad: Autenticación y encriptación.
- Temperatura de trabajo: -20C a +75C.
- Compatible con Android.
- Dimensiones: 37\*16 mm.
- Peso: 3.6 gramos

El módulo Bluetooth HC-05 nos permite conectar nuestros proyectos con Arduino a un smartphone, celular o PC de forma inalámbrica (Bluetooth), con la facilidad de operación de un puerto serial. La transmisión se realiza totalmente en forma transparente al programador, por lo que se conecta en forma directa a los pines seriales de nuestro microcontrolador preferido (respetando los niveles de voltaje, ya que el módulo se alimenta con 3.3V). Todos los parámetros del módulo se pueden configurar mediante comandos AT. La placa también incluye un regulador de 3.3V, que permite alimentar el módulo con un voltaje entre 3.6V - 6V. Este módulo es el complemento ideal para nuestros proyectos de robótica, domótica y control remoto con Arduino, PIC, Raspberry PI, ESP8266, ESP32, STM32, etc (neylampmechatronics, 2023).



*Figura 11:* Modulo Bluetooth HC-05

Fuente: tomado de <https://naylorlampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>

- Cojinete con rodamiento horizontal, para eje de 8mm:
  - Diámetro interno: 8mm.
  - Longitud total: 48mm.
  - Material: Acero y Zinc.



*Figura 12:* Cojinete con rodamiento horizontal

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/kfl08-cojinete-con-rodamiento-horizontal-para-eje-de-8mm-unidad-9075#attr=>

- Tuerca T8 para varilla trapezoidal de 4 hilos:
  - Diámetro: 8mm.
  - Material: Acero inoxidable.
  - Para varilla trapezoidal de 4 hilos.



*Figura 13:* Tuerca T8

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/tuerca-t8-tuerca-t8-2x8mm-para-varilla-trapezoidal-4-hilos-8323?search=Tuerca+T8+para+varilla+trapezoidal+&order=name+asc#attr=>

- Varilla trapezoidal roscada de 500 mm M8 paso de 2 mm 4 hilos:
  - Longitud: 500mm.
  - Diámetro: 8mm.
  - Paso: 2mm por vuelta.
  - Material: Acero inoxidable.
  - Resistente a la corrosión.
  - Resiste altas temperaturas.



*Figura 14:* Varilla trapezoidal M8 4 Hilos

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/thsl-500-8d-2mm-4h-varilla-trapezoidal-roscada-de-500mm-m8-paso-de-2mm-4-hilos-11005?search=Varilla+trapezoidal+roscada+de+500+&order=name+asc#attr=>

- Guía lineal con carro \* 450 mm:
  - Longitud del carro: 45.4mm.
  - Ancho del carro: 27mm.
  - Longitud del riel: 450mm.



*Figura 15:* Guía Lineal con carro x 450 mm

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/mgn12h-450mm-guia-lineal-con-carro-para-imp-3d-450mm-11033?search=Gu%C3%ADa+lineal+con+carro&order=name+asc#attr=>

- Acople Flexible para Motor de 6mm a 8mm:
  - Acople: 6mm a 8mm.
  - Diámetro externo: 19mm.
  - Longitud: 25mm.
  - Material: Aluminio.



*Figura 16:* Acople flexible para motor

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/af-d19125-6x8-acople-flexible-para-motor-de-6mm-a-8mm-8771?search=Acople+Flexible+para+Motor+de+6mm+a+8mm&order=name+asc#attr=>

- Soporte para motorreductor 37D mm:
  - Soporte en aluminio para sujetar el motorreductor.
  - Peso por soporte: 11 g (Didacticas electrónicas, 2025).



*Figura 17:* Soporte para motorreductor

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/pol-1084-soporte-para-motorreductor-37d-mm-1866?search=Soporte+para+motorreductor+37D+mm&order=name+asc#attr=>

- Camisa para tuerca T8:
  - Tamaño: 34x30x30mm.
  - Material: Aluminio.
  - Peso: 74g aprox.



*Figura 18:* Camisa para tuerca T8

Fuente: tomado de <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/camisa-t8-a-camisa-para-tuerca-t8-10336?search=Camisa+para+tuerca+T8&order=name+asc#attr=>

- Fuente Suichada Conmutada Industrial 12v 3, 2a S-40-12 Sompom:
- - Marca: SOPOM.
  - Modelo: 12v 3, 2a S-40-12.
  - Potencia: 38,4 W.



*Figura 19:* Fuente suichada conmutada

Fuente: tomado de <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-959602510-fuente-suichada-conmutada-industrial-12v-32a-s-40-12-sompom- JM>

- Final Carrera Endstop Ender Creality:
  - Marca: Creality 3D.
  - Modelo: Ender-3 V2.
  - Temperatura máxima: 100 °C.



*Figura 20:* Final carrera Endstop

Fuente: tomado de <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-813295841-sensor-de-final-carrera-endstop-ender-3-v2-creality-original- JM>

- Cable USB tipo B;

Este es el tipo de USB más común y famoso, por eso también se le conoce como USB estándar. El cable USB Tipo A está compuesto de dos extremos, el que se conecta al dispositivo receptor una computadora, por ejemplo y que lleva el nombre de conector macho Tipo A, por lo que, el puerto receptor lleva el nombre de puerto A femenino.

Este cable en su extremo tiene un conector tipo B estándar en el otro extremo y es muy útil para conexión de impresoras. También se usa ampliamente en la conexión del popular Arduino uno (Electróniclub, 20245)



*Figura 21:* Cable USB tipo B

Fuente: tomado de [https://electronilab.co/tienda/cable-usb-tipo-ab-de-impresora/?srsltid=AfmBOorE0gbAMExVNMt5RUfrhwTWgf6AzDHndtXNkU68e\\_3CHmzQ4rzX](https://electronilab.co/tienda/cable-usb-tipo-ab-de-impresora/?srsltid=AfmBOorE0gbAMExVNMt5RUfrhwTWgf6AzDHndtXNkU68e_3CHmzQ4rzX)

- Rodachines de PVC con freno azul:
- - Modelo: HRO163-02.
  - Peso máximo soportado: 50Kgs.



*Figura 22:* Rodachín de PVC

Fuente: tomado de <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/495662/rodachina-plataforma-pvc-con-freno-azul/495662/>

## 4.2 Marco conceptual

El presente proyecto consiste en el diseño e implementación de un sistema automático para la clasificación de botellas PET, utilizando un sensor de color y un sistema de rieles de impresoras 3D como medio de transporte. Sobre estos rieles se desliza una canoa porta-botellas que permite realizar la separación. El objetivo del sistema es optimizar el proceso de reciclaje mediante la clasificación eficiente de las botellas según su color. Para su funcionamiento, integra diversos componentes electrónicos y mecánicos.

**4.2.1. Automatización:** el objetivo de la automatización de procesos es mejorar la competitividad de las empresas mediante la incorporación de tecnologías que aseguren el control y el buen funcionamiento de las máquinas. Buscando reducir costos de fabricación, generar un estado constante de calidad y liberar al ser humano de labores peligrosas.

Los primeros autómatas fueron juguetes mecánicos de los griegos y romanos, posteriormente se desarrollaron máquinas más complejas durante la edad media y el renacimiento, en el siglo XVIII, Jacques de Vaucanson construyó autómatas famosos como el pato y el flautista, imitando acciones animales y humanas.

La automatización abarca desde tareas simples como control de temperatura, a tareas complejas como la automatización de gestión de bancos. Los sistemas automatizados se dividen en dos partes, la operativa, que son las máquinas y dispositivos de control. Y la parte de control que son los coordinadores de operaciones, en ellos encontramos sensores, transductores con la finalidad de tener un proceso de control (García Moreno, 2001).

**4.2.2 Control de movimiento:** El control por movimiento tiene sus inicios desde el 300 A.C. con el reloj de agua de Ktesibios, en los siglos XVIII y XIX se presentan avances significativos como la máquina de vapor y automatización de fábricas por poleas.

Un sistema de control de movimiento tiene una estructura de componentes y diagramas de

bloques, los componentes pueden ser software de aplicación, driver (amplificador), actuador (motor), elementos mecánicos, dispositivos de retroalimentación (feedback), HMI (interfaz de hombre máquina); el diagrama de bloque presenta la interacción entre estos dispositivos para lograr el control del movimiento. Dentro de estos movimientos se presentan varios tipos como: movimiento de un solo eje, punto a punto, movimiento coordinado de múltiples ejes, cálculo de trayectoria y movimiento de contorno, teniendo aplicaciones prácticas, como brazos robóticos y sistemas de inspección de placas.

Para lograr estos movimientos necesitan de actuadores, se encuentran dos tipos de motores, de corriente continua (DC) o corriente alterna (AC), motores de imán permanente, servomotores y motores paso a paso, según la aplicación específica a desempeñar se debe de considerar su torque, velocidad y eficiencia. A esto se le suma con qué tipo de tecnología se desea trabajar, si es con un control basado en PC, controladores PLC o PAC y redes industriales como CANopen y Ethernet para la comunicación eficiente. Estas herramientas en conjunto, la automatización y control de movimiento son esenciales para la mejora de productividad y la calidad en la industria (Marzán Anillo & Gutiérrez Mejía, 2012).

**4.2.3. Sensor de color:** un sensor de color es un dispositivo electrónico capaz de detectar y distinguir colores en objetos o superficies. Su función principal es cuantificar las propiedades cromáticas de la luz reflejada o emitida por un objeto, convirtiendo esa información en una señal eléctrica interpretable por un microcontrolador u otro sistema de control.

En términos generales, se trata de un tipo de sensor fotoeléctrico que emite luz hacia un objeto y luego, mediante un receptor, detecta luz reflejada. Al analizar la intensidad de la luz en distintas longitudes de onda correspondiente a los colores primarios el sensor puede identificar con precisión el color del objetivo (keyence, 2025).

El principio del funcionamiento general de la mayoría de los sensores se basa en la síntesis aditiva de color, es decir, la combinación de la luz roja, verde, y azul, para formar cualquier otro color visible. Estos sensores utilizan fotodiodos con filtros específicos para color, permitiendo la conversión de la información óptica en señales eléctricas que pueden ser interpretadas por

sistemas de control como microcontroladores (Ecarletti, 2018).

Sensor de color TCS 230-TCS3200: es un sensor ampliamente usado en aplicaciones de detección y clasificación de colores. Este sensor integra un matriz de 8 x 8 fotodiodos donde:

- 16 fotodiodos tienen filtros para el color rojo.
- 16 fotodiodos tienen filtros para el color verde.
- 16 fotodiodos tienen filtros para el color azul.

Mediante los pines de control S2 y S3, se selecciona el grupo de fotodiodos correspondiente al color que se desea medir. La luz incidente en los fotodiodos seleccionados se convierte en una señal de frecuencia mediante un convertidor de corriente frecuencia integrado. La frecuencia de salida es proporcional a la intensidad de la luz detectada y puede ser leída por un microcontrolador para determinar el color del objeto. Además, los pines S0 y S1 permiten escalar la frecuencia de salida para adaptarse a diferentes requerimientos del sistema. Este sensor es compatible con microcontroladores como Arduino (Santos & Santos , 2018)

**4.2.4. Botellas plásticas:** el plástico o polímero derivado del petróleo, es un recurso no renovable, uno de los productos de polímeros de mayor consumo en el mercado son las botellas plásticas, principalmente siendo utilizado para comercialización de líquidos, conocido como tereftalato de polietileno (PET). Su fabricación de fibra de poliéster de manera lucrativa a nivel industrial comenzó en 1955.

Su nombre técnico es Polietileno tereftalato o Politereftalato de etileno, pertenece a la fórmula de poliéster aromático. Los termoplásticos manejados para la fabricación de botellas plásticas son: Polietilentereftalato (PET), Polipropileno (PP), Policloruro de vinilo PVC, Poliestireno, se consigue por dos técnicas de fabricación, inyección-soplado o inyección-soplado-estirado. Su destino final es el consumidor, al final de su vida útil tiene tres caminos, reutilización, reciclar o desechar.

Su consumo en el 2016 fue aproximadamente de 480 mil millones de botellas plásticas,

siendo la mayoría utilizada para bebida, terminando la gran mayoría de botellas en vertederos o los océanos (Quishpe Gaibor & Ortiz, 2018).

A pesar de esto el polietileno tereftalato (PET) es ampliamente reconocido como uno de los materiales plásticos más reciclables a nivel mundial. Su alta reciclabilidad se debe a su capacidad para ser procesado y reutilizado en la fabricación de nuevos productos, como envases y textiles, sin una pérdida significativa de calidad (Ecoologic, 2025). Reduciendo así la necesidad de producir plástico virgen. Además de ser el material más reciclado del mundo, el consumo de energía, agua y materias primas necesario para fabricar botellas PET es mucho menor y la huella de carbono que tiene es más baja que la de otros materiales. Dado que las botellas PET pueden tardar cientos de años en descomponerse en el medio ambiente, se resulta fundamental promover la conciencia y responsabilidad ambiental entre los consumidores (ALCION, 2025).

A lo largo de la historia, han dado lugar a diferentes tipos de envases de plástico y características que se adaptan a productos muy diferentes de todos los sectores. Algunos de los materiales para envases más útiles en la actualidad son el PET, el HDPE, así como aquellos utilizados en la coextrusión multicapa.

- **Envase PET:** Las características del PET lo hacen un material muy adecuado para la fabricación de envases (especialmente botellas y frascos), piezas o incluso textiles. El resultado es un material con las siguientes propiedades: propiedades mecánicas excelentes (resistentes al desgaste y al plegado), muy buena barrera al CO<sub>2</sub> y aceptable a oxígeno y humedad, alta resistencia química y deformabilidad térmica, transparente y cristalino y que admite algunos colorantes, liviano y 100% reciclable (Envaselia, 2018).

- **Envase HDPE:** se utiliza en la fabricación de diversos tipos de envases y botellas, como los utilizados para leche, lejía, limpiadores, champú y otros productos domésticos. Gracias a su resistencia química y durabilidad, el HDPE es una opción popular en la industria del envasado. En la industria química, el polietileno de alta densidad se utiliza en la fabricación de productos como detergentes y cloro. Debido a su resistencia a productos químicos y ácidos, el HDPE es una elección común para el almacenamiento y transporte seguro de sustancias químicas

(Mecyplastec, 2024).

- **Envases barrera Coex + fluorados:** La coextrusión multicapa es la extrusión de dos o más polímeros que da lugar a una estructura multicapa., combinando diferentes materiales para producir películas de mayor calidad, produciendo envases con propiedades de barrera, sienten más resistentes que otros tipos de envases convirtiéndolos en los más adecuados para productos químicos más exigentes. Otra tecnología que permite crear envases con propiedades barrera es la fluoración por plasma, aplicando de forma directa gas flúor, con esta tecnología es posible convertir un envase HDPE en un envase barrera, siendo más resistentes y 100% reciclable. Aunque aún no está muy extendida, en Alcion Packaging Solutions somos de las pocas empresas que ya está preparada para incorporar la tecnología de Fluoración por plasma en su planta de transformación, creando envases que se adapten mejor a sectores como el de agroquímicos, respetando el medio ambiente y facilitando el reciclaje (ALCION, 2023).

Para la separación de botellas se puede utilizar un sistema opto-electrónico para la identificación y separación de botellas, este sistema emplea sensores infrarrojos permitiendo identificar residuos transparentes de plástico PET, PVC y PS, al inducir una longitud de onda específica en cada material, varía la respuesta de transmisión, permitiendo la identificación, esta señal recibida por el fotodetector se confronta digitalmente y se envía a un PLC para activar los mecanismos necesarios para su respectiva separación. Este método de separación es no invasivo lo cual es importante porque garantiza que el material del plástico no se ve afectado negativamente durante la identificación y separación, asegurando la integridad del plástico, adicionalmente la no invasividad protege al medio ambiente y, a los operarios al no generar residuos adicionales o contaminantes durante el proceso (Pérez Sánchez y otros, 2017).

### **4.3 Marco histórico**

En el trabajo de grado titulado “*Diseño y cálculo de una separadora óptico-neumática de residuos plásticos*” se aborda el problema de manera global sobre la gestión de los residuos, enfatizando la necesidad de desarrollar tecnologías eficientes para el reciclaje. En muchos países la gestión de los residuos sigue siendo minúscula por lo tanto la tasa de reciclaje es mínima,

generando un sometimiento en el trabajo manual en las plantas de reciclaje. Este trabajo se encamina en diseñar y calcular una máquina clasificadora de residuos plásticos que emplea un sistema integrado de sensores ópticos y actuadores electromecánicos (Rojas & Franco, 2022).

En el trabajo de tesis titulado “*Diseño de una máquina automatizada clasificadora de cebolla por color y tamaño*” se centra en el desarrollo de una máquina para clasificar cebollas por tamaño y color, mejorando así la eficiencia en el proceso de postcosecha. Se realizó un análisis para determinar el diámetro de la cebolla y las características del color que presenta una cebolla cuando presenta un buen estado, siendo este color, rojo violáceo, y rojo cobrizo, cuando esta no es de buenas condiciones presenta colores como, amarillo, amarillo verdoso o verde. El deslizamiento de la cebolla se ejecuta mediante una banda transportadora en forma de “V” para una mejor alimentación y transporte, que emplea una malla de acero galvanizado con orificios hexagonales con tres medidas diferentes y su clasificación de color de se lleva mediante un panel de reconocimiento de imagen, empleando cámaras para la adquisición de imágenes, algoritmos programados para procesar las imágenes aplicando sistemas de RGB y HSV para capturar el color de las cebollas (Fustamante Saldaña & Vásquez Gamonal, 2018).

En el artículo titulado “*Máquina clasificadora de flores: diseño y construcción*” la propuesta surge de una necesidad en una finca floricultora para mejorar el proceso de clasificación de flores. Teniendo como parámetros clave la velocidad de procesamiento volumen, estabilidad y el uso de elementos estándar. Empleando una matriz de QDF (despliegue en función de la calidad), para evaluar las preferencias del desarrollo del prototipo. El software se desarrolló en la plataforma Linux, empleando cámaras BASLER SC640 para capturar imágenes, con el fin de crear una base de datos para entrenar al clasificador de rosas, para la interfaz del control y clasificación se desarrolló en Qt sobre C++, utilizando OpenCV para el pretratamiento y extracción de características. El proyecto demuestra una precisión cercana al 80% en la clasificación de rosas; se identificaron áreas de mejora al final de banda transportadora, en el soporte de las rosas para evitar desacomodos a causas de la aceleración angular (Martínez y otros, 2021).

#### 4.4. Marco legal:

El desarrollo del presente proyecto de automatización se enmarca en la legislación y normativas técnicas vigentes en Colombia, garantizando la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del prototipo. A continuación, se detallan las principales normas aplicables:

##### Normativa eléctrica:

- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE): establecido mediante la resolución 907008 de 2013, el RETIE define las condiciones técnicas que deben cumplir las instalaciones eléctricas para garantizar la seguridad de las personas, la preservación del medio ambiente y la confiabilidad del servicio eléctrico, incluyendo transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica.
- Norma técnica colombiana NT 2050- Código Eléctrico Colombiano: esta norma está basada en la National Electrical Code (NEC), establece los requisitos para la instalación segura de sistemas electrónicos en Colombia. Cubre aspectos como la selección de conductores, protecciones, sistemas de puesta a tierra y dispositivos de protección contra sobre corrientes, siendo fundamental para el diseño y construcción de sistemas eléctricos seguros y eficientes.

##### Norma en construcción de materiales:

Para la construcción del prototipo, se han considerado las siguientes normativas:

- Norma Técnica Colombiana NTC 1925: Establece los requisitos para la fabricación y uso de estructuras de madera, asegurando su resistencia y durabilidad.
- Norma Técnica Colombiana NTC 2185: Define las especificaciones para materiales plásticos, como el acrílico, utilizados en aplicaciones estructurales y de protección.

##### Norma ambiental:

- Ley 1672 de 2013: Establece los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Esta ley promueve la minimización de la generación de RAEE, su adecuada recolección, tratamiento y disposición final, así como la responsabilidad compartida entre productores, comercializadores y consumidores.

## **5. Metodología**

### **5.1 Tipo de proyecto**

El tipo de investigación es descriptiva ya que se van a detallar el proceso de diseño y construcción del prototipo separador de botellas.

### **5.2 Método**

El proyecto de investigación emplea un enfoque exploratorio y descriptivo para percibir en profundidad la problemática de separación y recolección de residuos sólidos en la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, analizando el impacto de las tecnologías de control digital programable en la promoción de prácticas sostenibles.

Se plantea un diseño de una máquina que permita la separación de botellas PET por colores que consta de las siguientes fases.

Fase 1: se realiza una investigación de los procesos existentes y piezas necesarios que permitan la separación de botellas PET por colores.

Fase 2: se realiza el diseño en el software fusión 360, donde se presenta el ensamblaje, piezas y funcionamiento.

Fase 3: se desarrolla el prototipo del separador de botellas PET por colores y pruebas de este.

### **5.3 Instrumentos de recolección de información**

En el proceso de investigación se utilizaron varios instrumentos para la recolección de información, como: Revisión de documentos con información del proceso.

**5.3.1 Fuentes primarias.** Revisión de documentos y procesos de la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra. “(Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, 2023)”.

Se realiza entrevista a la coordinadora de medio ambiente de la secretaría de agricultura municipal y al director de Aguas de Maceo.

**5.3.2 Fuentes secundarias.** Consulta en diferentes documentos como: Revistas Científicas, Documentos Oficiales de instituciones públicas e Informes Técnicos y de Investigación de Instituciones Públicas.

## 6. Resultados

El presente proyecto tuvo como objetivo desarrollar un sistema automatizado de separación de botellas recicladas PE, orientado a su clasificación por color mediante el uso de tecnologías de control digital programable y sensórica especializada. Esta propuesta surge como una solución practica e innovadora para mejorar los procesos de manejo de residuos plásticos, permitiendo su reciclaje como materia prima en la elaboración de filamento para impresoras 3D.

El sistema diseñado incorpora un conjunto de componentes electrónicos y mecánicos, destacando el uso de un sensor de color TCS3200, un Arduino uno como microcontrolador programable y un mecanismo de transporte basado en rieles de impresora 3D. la botella PET se desplaza en una estructura de PVC tipo canoa para ser analizada cromáticamente, y luego ser dirigida al contenedor correspondiente. La estructura fue construida en madera de cedro, seleccionada por su resistencia y disponibilidad en la región, mientras que se utilizo acrílico transparente para proteger los componentes y permitir la visualización del proceso, reforzando su nivel educativo.

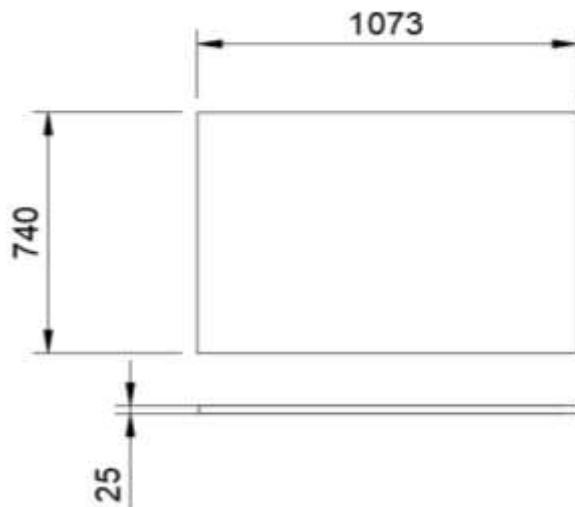
### 6.1. Diseño, medidas, materiales y proceso de construcción.

El diseño de la estructura de separación de botellas PET fue realizado utilizando el software CAD Autodesk Fusion 360, con el propósito de garantizar una correcta distribución de los componentes, funcionalidad mecánica y accesibilidad visual para fines educativos. La estructura del prototipo se dividió en dos partes principales: la base o mesa, y la estructura superior de definida como casco.

La base y estructura superior o casco del prototipo fue construida en madera de cedro, elegida por su durabilidad, facilidad de mecanizado, disponibilidad local y menor costo comparado con estructuras metálicas.

La mesa tiene las siguientes dimensiones:

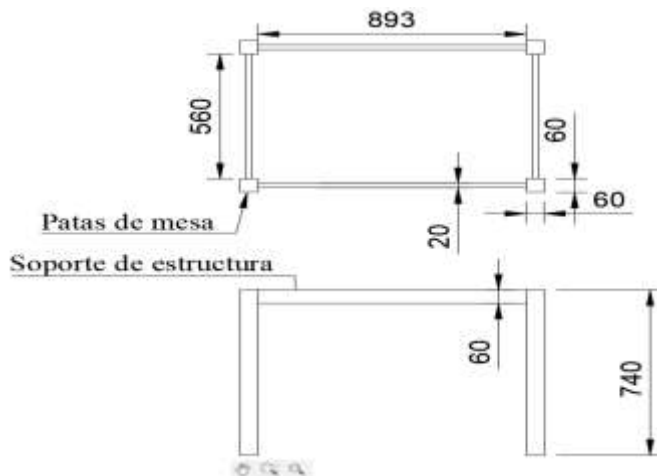
- Cubierta: 1073 mm de ancho x 740 mm de largo, con un espesor de 25 mm.



*Figura 23:* Dimensiones de cubierta de la mesa

Fuente: elaboración propia

- Patas de la mesa y estructura de soporte:
  - Patas: altura de 740 mm x 60 mm x 60 mm de espesor.
  - Estructura de soporte: 2 tablas de 893 mm de largo y 2 tablas de 560 mm de largo x 60 mm de ancho y 20 mm de espesor.



*Figura 24:* Patas y soporte de la mesa

Fuente: elaboración propia

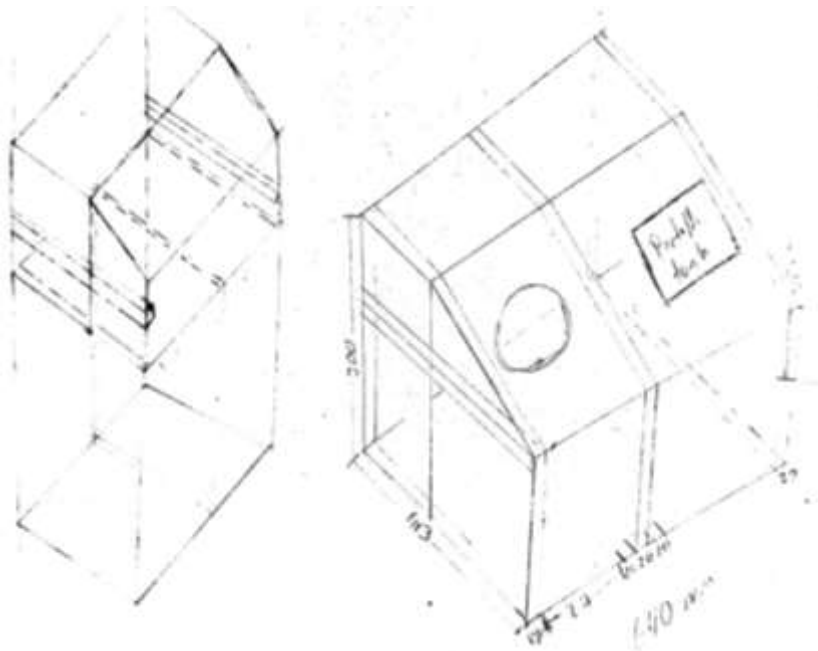
- Mesa terminada: con una altura total de 765 mm.



*Figura 25:* Mesa terminada en fusión  
Fuente: elaboración propia

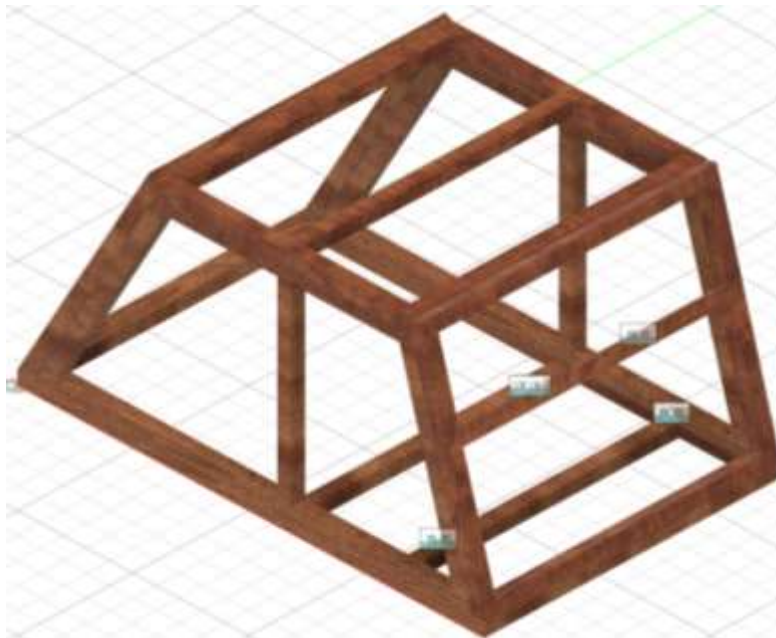
La estructura superior o casco, también elaborada en madera y complementada con paneles de acrílico de 5mm, permite visualizar el proceso interno sin comprometer la seguridad de los componentes, facilitando la comprensión del proceso por parte de los usuarios y observadores.

Para la realización de la parte superior se realiza un boceto de la estructura a mano para darle forma y dar una idea sólida de lo que se quiere lograr.



*Figura 26:* Boceto a mano estructura superior  
Fuente: elaboración propia

Luego este boceto se diseña en fusión donde mejora el diseño estructural, espacios y altura.

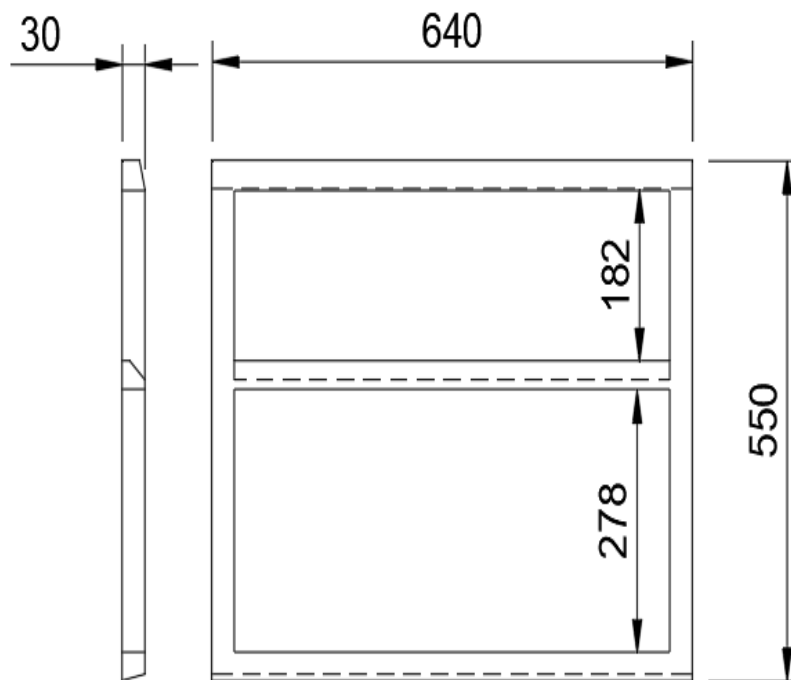


*Figura 27:* Diseño de la estructura superior  
Fuente: elaboración propia

Una vez definido el diseño estructural al momento de realizar los planos correspondientes para su respectiva construcción se evidencia una problemática, los planos resultan bastante confusos y adicional representa un gran reto el construir la pieza, debido a los ángulos internos es complejo de armar y garantizar su solides entre las uniones. Para esto se decide realizar la pieza por módulos los cual facilita la interpretación de planos, proceso de construcción y garantiza que la pieza tenga firmeza ya que se asegura con tornillos de ensamble y colbón de madera, adicional a esto, la construcción por módulos permite crear las piezas del acrílico casi que al tiempo de diseñar cada módulo logrando ahorrar tiempo en el proceso del diseño y generación de planos.

Los módulos se dividen en 5 partes.

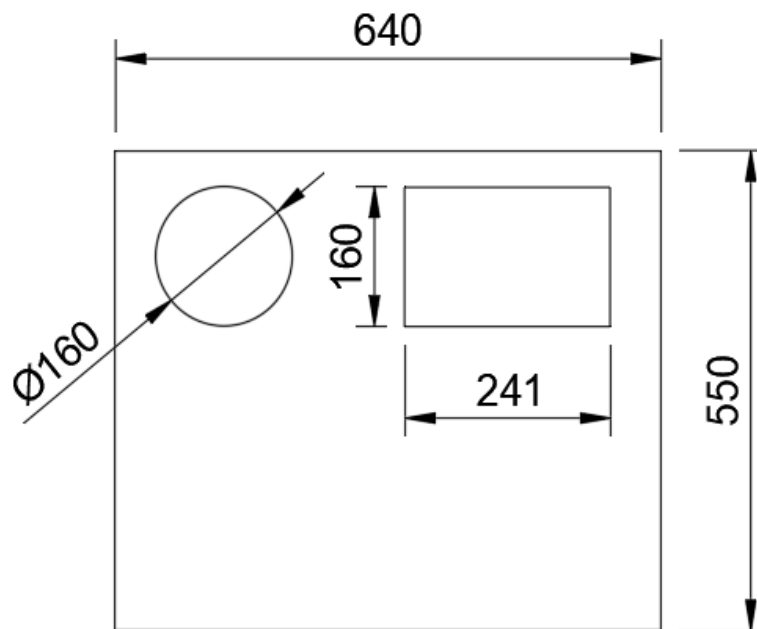
- Módulo frontal: con unas medidas externas de 640 mm de ancho x 550 mm de alto x 30 mm de espesor, y un espacio para la Tablet e ingreso de las botellas PET de 182 mm.



*Figura 28:* Plano Módulo frontal en madera

Fuente: elaboración propia

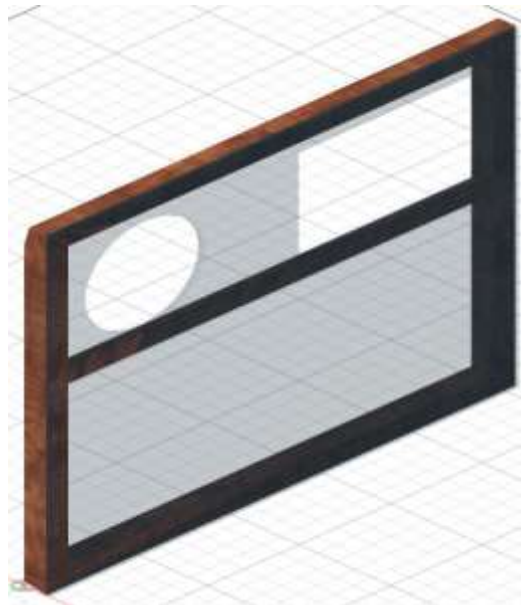
A partir de este módulo frontal se toma las medidas para el acrílico de 5mm.



*Figura 29:* Plano frontal acrílico

Fuente: elaboración propia

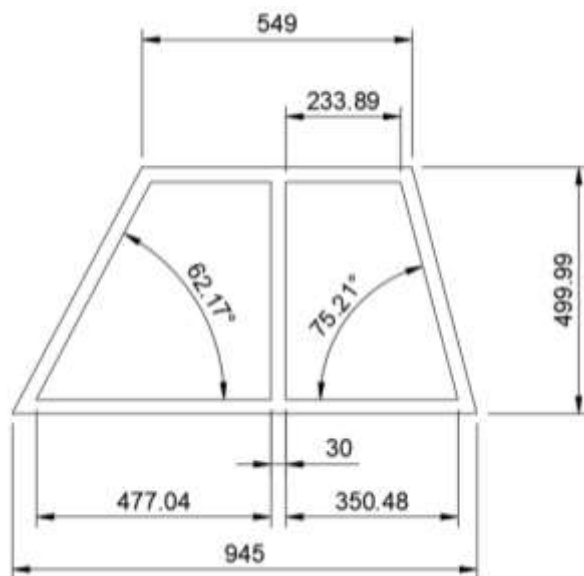
Como resultado final el software Fusión 360 nos permite visualizar su acabado final.



*Figura 30:* Diseño frontal estructura con acrílico

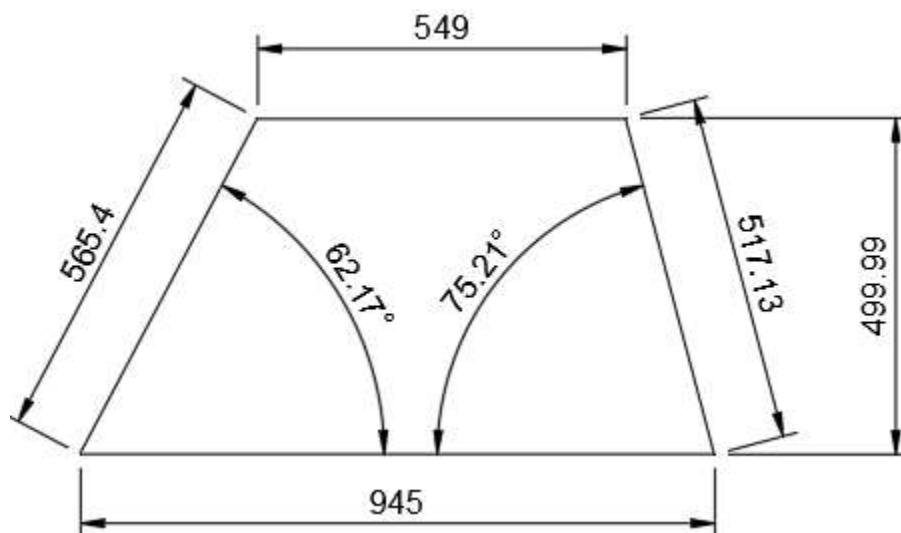
Fuente: elaboración propia

- Modulo lateral derecho e izquierdo: con unas medidas externas de una altura de 500 mm, una base de 945 mm y una base superior de 549 mm, todas piezas con grueso de 30 mm.



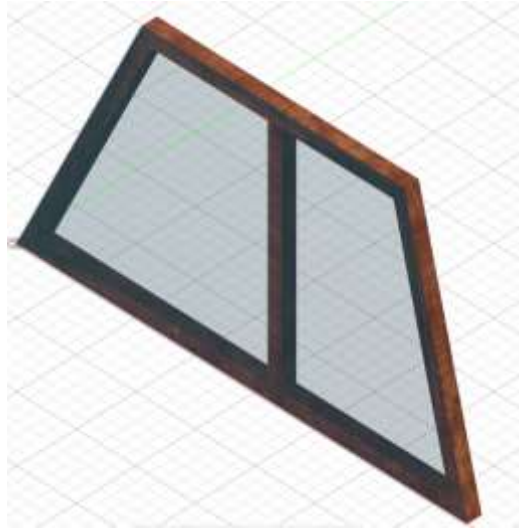
*Figura 31:* Plano módulo lateral derecho e izquierdo  
Fuente: elaboración propia

Se realiza sobre la pieza el plano del acrílico para ambos lados.



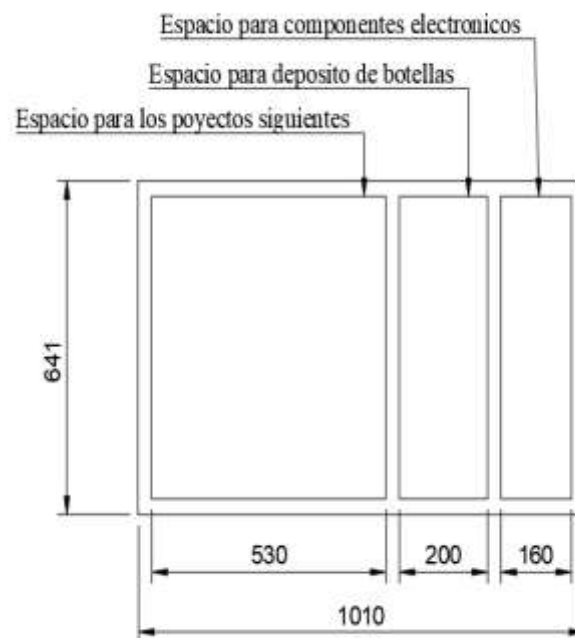
*Figura 32:* Plano acrílico lateral derecho e izquierdo  
Fuente: elaboración propia

Visualización del módulo lateral con el acrílico.



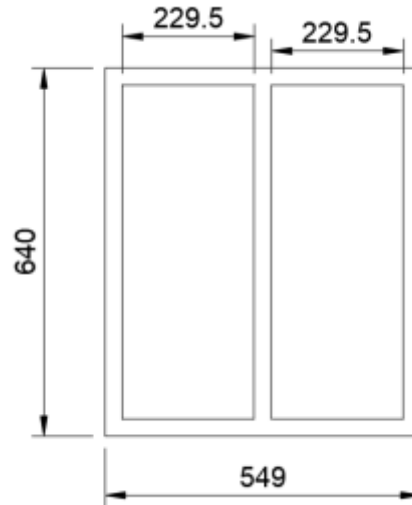
*Figura 33:* Diseño estructura con acrílico  
Fuente: elaboración propia

- Modulo inferior: Con una media de 1010 mm de largo x 641 mm de ancho con un espesor de 30 mm, para este caso no es necesario el acrílico, este va sujeto a la cubierta de la mesa.



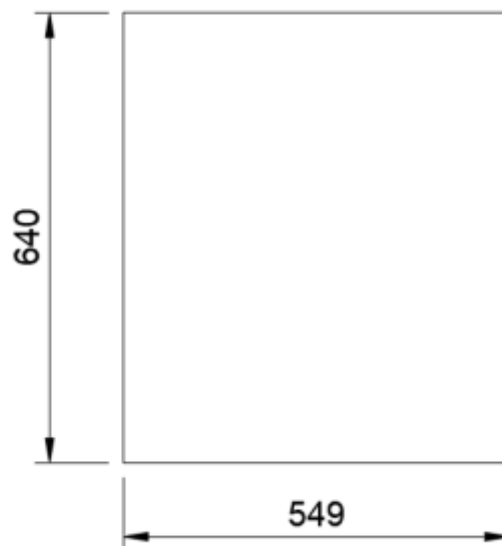
*Figura 34:* Plano modulo inferior  
Fuente: elaboración propia

- Modulo superior: con una medida de 640 mm de ancho x 549 mm de largo, se realiza una división con la finalidad de dar más soporte a la estructura y al acrílico.



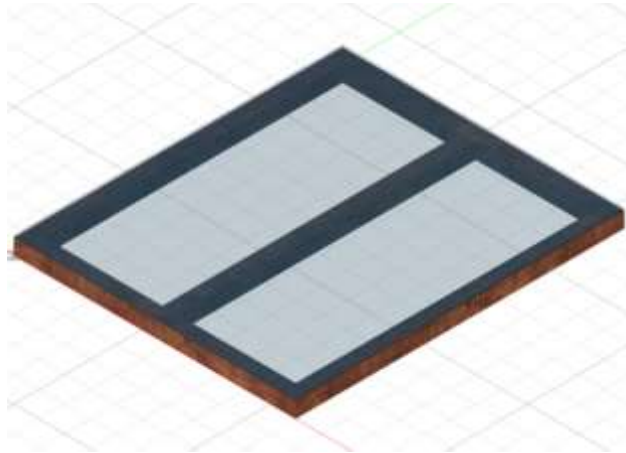
*Figura 35:* Plano módulo superior  
Fuente: elaboración propia

Medidas del acrílico como tapa superior con espesor de 5 mm.



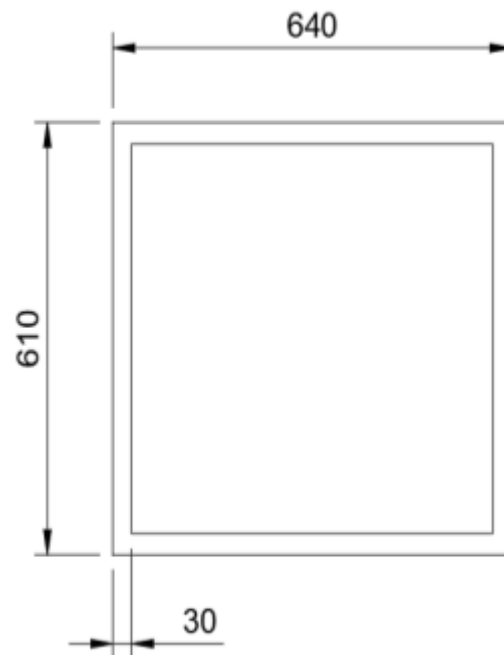
*Figura 36:* Plano acrílico superior  
Fuente: elaboración propia

Visualización con el acabado final



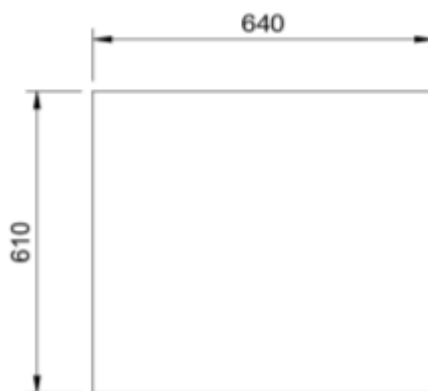
*Figura 37:* Diseño de estructura con acrílico  
Fuente: elaboración propia

- Modulo posterior: con medidas de 640 mm de ancho x 610 mm de largo, este cumple la función de compuerta, que permite al aseso de los dos proyectos siguientes.



*Figura 38:* Plano modulo posterior  
Fuente: elaboración propia

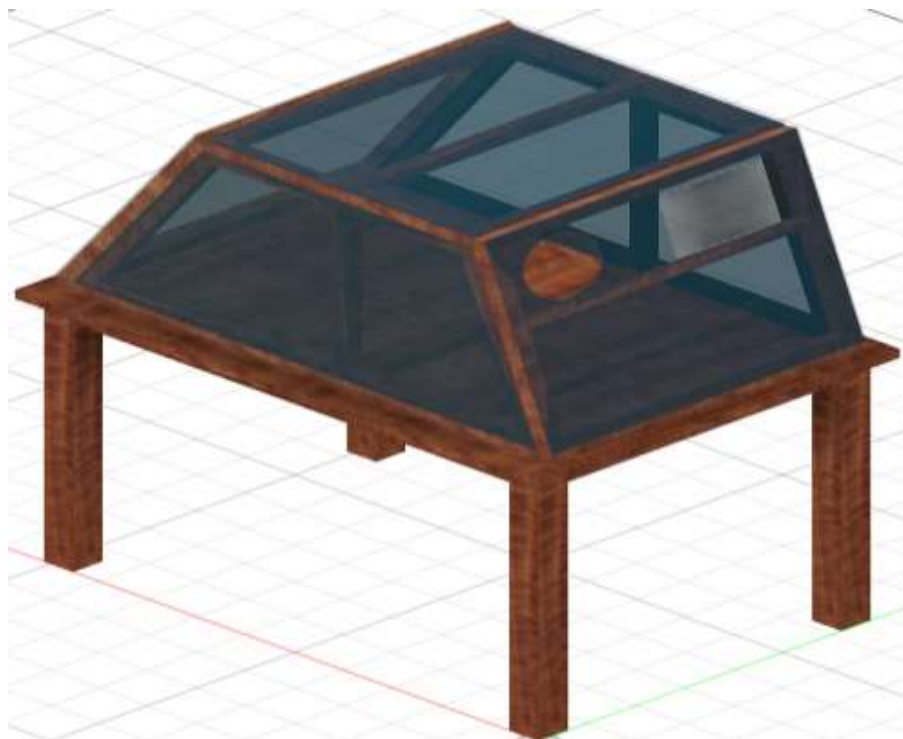
Medidas para el acrílico:



*Figura 39:* Plano acrílico posterior

Fuente: elaboración propia

Como resultado final se obtiene una estructura compacta que permite un armado más cómodo y mucho más resistente ante cualquier golpe, con altura adecuada para los estudiantes de la Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra, un ancho que va acorde a las medidas de los depósitos que irían en la parte inferior de la mesa.



*Figura 40:* Diseño completo de estructura de madera y acrílico

Fuente: elaboración propia

## 6.2. Distribución de componentes del proyecto.

La distribución de los componentes en el prototipo fue planificada para asegurar eficiencia operativa en el proceso, funcionalidad mecánica y facilidad de mantenimiento. El diseño asistido por computadora, realizado con el software fusión 360 permitió visualizar previamente la disposición de cada elemento, facilitando la integración estructural como electrónica del sistema.

En la parte frontal de la estructura superior del casco se encuentra ubicada la compuerta de ingreso, la cual es activada por un servomotor. Esta compuerta regula el paso de una botella a la vez al sistema de lectura. Su apertura está condicionada por el registro del usuario en la interfaz del software mediante una Tablet, lo que genera una orden al Arduino Uno, microcontrolador que gestiona los servomotores. Una vez abra la compuerta, la botella cae dentro de una canoa porta botellas, estructura semicilíndrica construida en PVC, montada en un sistema de desplazamiento tipo rieles de impresión 3D, impulsado por un tonillo sinfín acoplado aun motorreductor.

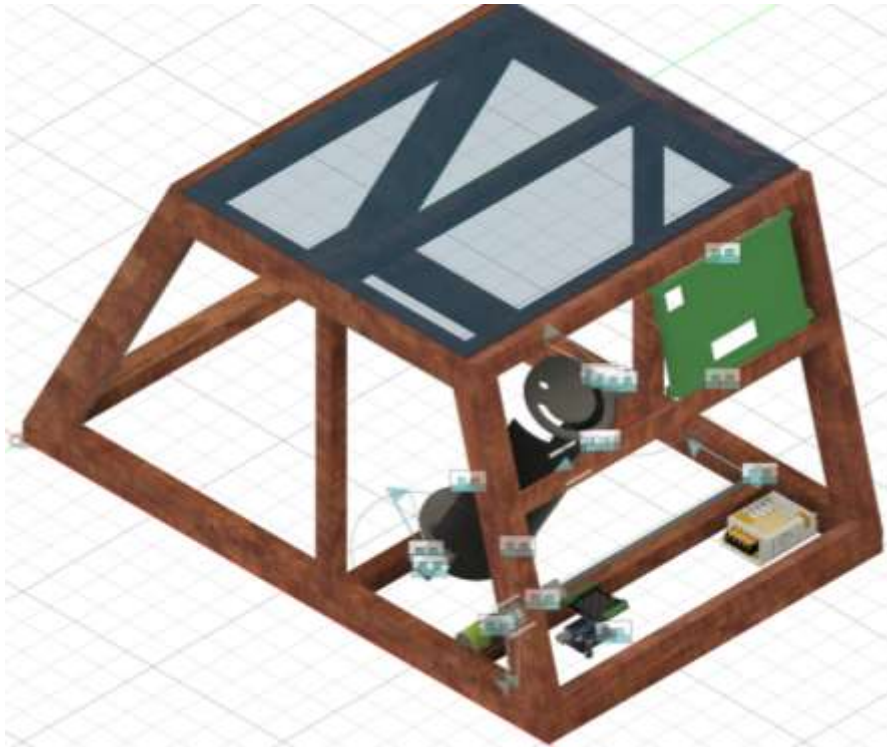
Dentro de esta canoa porta botellas, se encuentra el sensor de color TCS3200 encargado de realizar la lectura cromática de la botella. Con base en el color detectado, el sistema ejecuta una de dos acciones: si el color identificado es transparente, el sistema permanece en su posición inicial y se activa la compuerta para depositar, también es accionada por un servomotor, que permite que la botella caiga directamente al primer depósito. Si por el contrario, el sensor identifica un color oscuro, el Arduino Uno, envía una señal al motorreductor para activar el tonillo el sinfín lo que produce un desplazamiento horizontal de la canoa porta botellas hacia el segundo deposito, quedando lista para el siguiente ciclo.

En la parte central del sistema se aloja el sensor de color TCS3200, dispuesto de forma que tenga un ángulo directo y preciso hacia la botella. Este sensor, basado en una matriz de fotodiodos con filtros RGB, permite detectar la luz reflejada por el plástico, clasificando la botella según su tonalidad. El procesamiento de la señal es ejecutado por el Arduino Uno, que no solo interpreta los datos cromáticos, sino que además controla la lógica del sistema, enviando órdenes de movimiento al motorreductor o a los servomotores, según corresponda.

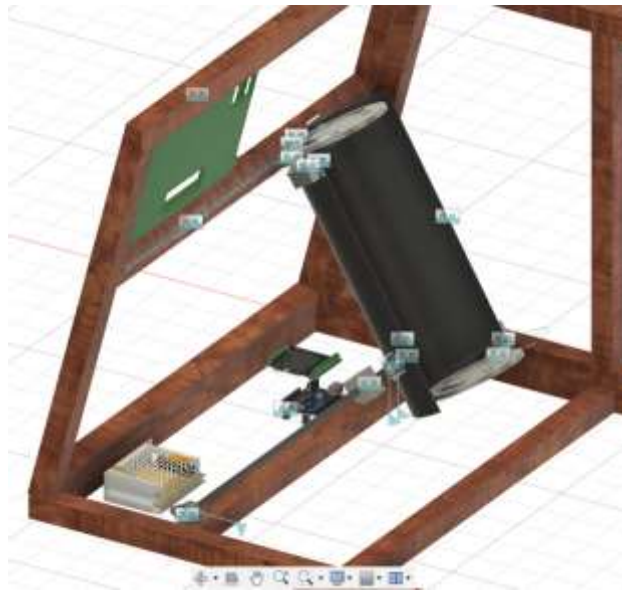
Finalmente se integró el sistema de almacenamiento, compuesto por dos canecas plásticas de 50 litros, similares a las utilizadas en los puntos ecológicos de recolección selectiva. Estas canecas fueron seleccionadas no solo por la capacidad, sino también por su fácil adquisición, resistencia y adaptabilidad para el sistema. Para facilitar su manipulación y mantenimiento, se propone que las canecas estén montadas sobre rieles de tipo gaveta para trabajo pesado, lo que permite su extracción y re inserción de forma segura y sin esfuerzo excesivo por parte del usuario. Este sistema de guías proporciona estabilidad y facilita las tareas de vaciado y limpieza de los residuos.

Como resultado de esta configuración se logró una estructura compacta, funcional y segura, capaz de realizar con eficacia las operaciones de clasificación de botellas plásticas PET por color. Esta etapa del proyecto constituye una base sólida para el desarrollo del siguiente módulo, el cual consiste en la transformación del plástico clasificado en tiras que posteriormente serán extruidas para convertirse en filamento de impresora 3D.

Como resultado de esta configuración, se obtiene una visualización clara y detallada de la distribución de los componentes en el software Autodesk Fusion 360, lo cual permite anticipar su disposición física, facilitar ensamblaje y validar la funcionalidad del diseño antes de su construcción. En las siguientes imágenes se presenta las vistas del modelo generado, donde se pueden observar las piezas y su ubicación dentro del sistema.



*Figura 41:* Diseño de estructura más los componentes electrónicos  
Fuente: elaboración propia



*Figura 42:* Vista de la parte interna del diseño con la distribución de los componentes  
Fuente: elaboración propia



*Figura 43:* Diseño final con acabado y distribución de componentes  
Fuente: elaboración propia

En el proceso de construcción y prueba del prototipo se evidencio que el diseño mecánico presentaba dificultades al momento de desplazar la canoa-porta botellas, el sistema esta basado en un movimiento paralelo, iniciando el movimiento con la varilla trapezoidal a través del motorreductor, como consecuencia en la parte superior de la canoa-porta botellas presentaba resistencia en el riel de impresora 3D, generando un desbalance y atascando el mecanismo en el recorrido.

En vista de esta problemática y en busca de eficiencia se opta por emplear un sistema de tipo péndulo en la canoa-porta botellas, y en la base continúa haciendo el desplazamiento horizontal

con la varilla trapezoidal, al realizar este tipo de ajuste permite reducir los tiempos, costos y manipulación de componentes electrónicos, lo que disminuye la posibilidad de tener errores en la programación y desajustes en las piezas.



*Figura 44:* Nuevo mecanismo de desplazamiento canoa-porta botella  
Fuente: elaboración propia.

Para la conexión de señal de la compuerta se tenía planteado que la comunicación se realizara a través de bluetooth HC-05, se determinó hacer la comunicación a través de señal con conexión alámbrica a una de las entradas digitales del Arduino.

## 7. Conclusiones

El sistema automatizado desarrollado logró cumplir satisfactoriamente con los objetivos planteados, permitiendo la clasificación eficiente de botellas PET por color, mediante la integración de sensores, microcontroladores, servomotores y sistemas mecánicos.

El uso de Autodesk Fusion 360 en el diseño estructural fue clave para la planificación, distribución y visualización previa del ensamble de componentes. Esto permitió optimizar el proceso de construcción, prever interferencias y reducir errores durante la ejecución física del prototipo.

La implementación del sistema ha demostrado ser funcional, seguro y pedagógicamente útil, permitiendo que los estudiantes comprendan el funcionamiento de tecnologías aplicadas a problemas reales. La estructura modular y visible mediante acrílico refuerza su uso en entornos educativos.

A nivel ambiental, el proyecto aporta una solución concreta al problema de la gestión de residuos en el municipio, al fomentar prácticas de separación selectiva y valorización de residuos plásticos. La clasificación por color es el primer paso hacia la producción de filamento para impresión 3D, lo que abre la posibilidad de un ciclo completo de aprovechamiento del PET.

Finalmente, el sistema se proyecta como una base para desarrollos futuros, donde se pueda automatizar la trituración, extrusión y fabricación del filamento reciclado. Además, su diseño replicable permite su adaptación a otras instituciones o comunidades interesadas en promover la economía circular y la educación ambiental.

## 8. Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos y la experiencia durante el desarrollo del proyecto, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Al momento de realizar el diseño del prototipo, se sugiere tener en cuenta la variedad de tamaños en las presentaciones de botellas PET, es fundamental definir desde el inicio el espacio necesario dentro de la estructura, así como prever las posibles posturas de ingreso de la botella y la inclinación adecuada para facilitar su desplazamiento sin interferencias.
- Se recomienda considerar el uso de sensores más avanzados que ofrezcan una mayor sensibilidad en la detección cromática, para identificar con mayor precisión colores similares como transparente-blanco, celeste-azul, rojo-guido o celeste, aumentando así la variedad de material clasificado, mejorando la calidad del proceso de separación y por consecuencia mejorando el color en el acabo de las piezas de impresión 3D.
- Se sugiere incorporar sensores de proximidad en las canecas o depósitos donde se almacenan las botellas clasificadas, para facilitar las tareas de recolección y evitar desbordamientos.

## 9. Referencias bibliográficas

Quishpe Gaibor, J., & Ortiz, J. (Septiembre de 2018). Ética en la producción de botellas plásticas y su contaminación al medio ambiente. Quito, Ecuador. Retrieved 18 de Junio de 2024, from

<https://www.eumed.net/rev/caribe/2018/09/botellas-plasticas-ambiente.html>

Ajaj, R., Jadayil, W. A., Amberes, H., & Aqil, E. (12 de April de 2022). *MDPI*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14084583>

ALCION. (15 de Julio de 2023). *alcion.com*. Retrieved 22 de Mayo de 2025, from  
<https://www.alcion.com/tipos-envases-caracteristicas/>

ALCION. (2 de Marzo de 2025). *alcion.com*. Retrieved 22 de Mayo de 2025, from  
<https://www.alcion.com/botellas-pet-que-son-y-cuales-son-sus-beneficios/>

Arturocaicedoc. (2025). *Mercadolibre Colombia LTDA*. Retrieved 9 de junio de 2025, from [articulo.mercadolibre.com.co: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-956074536-arduino-uno-r3-atmega328p-con-driver-ch340g-cable-usb-\\_JM?highlight=true&headerTopBrand=false#polycard\\_client=search-nordic&position=18&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=dbedf00b-71fd-401f-a425-97](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-956074536-arduino-uno-r3-atmega328p-con-driver-ch340g-cable-usb-_JM?highlight=true&headerTopBrand=false#polycard_client=search-nordic&position=18&search_layout=stack&type=item&tracking_id=dbedf00b-71fd-401f-a425-97)

Autodesk. (2025). *Autodesk.com*. Retrieved 3 de junio de 2025, from Autodesk Foundation:  
<https://www.autodesk.com/es/products/fusion-360/overview>

Bigtronica. (2015). *Bigtronica S.A.S*. Retrieved noviembre de 2024, from [bigtronica.com: https://www.bigtronica.com/sensores/luz/827-sensor-de-color-tcs3200-5053212008277.html](https://www.bigtronica.com/sensores/luz/827-sensor-de-color-tcs3200-5053212008277.html)

Brooks, A., Jambeck, J., & Mozo Reyes, E. (july de 2020). *IDB Inter-American Development Bank*. Retrieved 3 de Marzo de 2025, from [publications.iadb.org: https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/Plastic-Waste-Management-and-Leakage-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf](https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/Plastic-Waste-Management-and-Leakage-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf)

Centro3D. (2025). *Mecadolibre Colombia LTDA*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://articulo.mercadolibre.com.co/>: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-813295841-sensor-de-final-carrera-endstop-ender-3-v2-creality-original-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-813295841-sensor-de-final-carrera-endstop-ender-3-v2-creality-original-_JM)

Congreso de la República de Colombia. (2013). *función pública*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://www.funcionpublica.gov.co/>: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53825>

Didacticas electrónicas. (2025). *Electrónicas I+D*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://www.didacticaselectronicas.com/>: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/camisa-t8-a-camisa-para-tuerca-t8-10336?search=Camisa+para+tuerca+T8&order=name+asc#attr=>

Didacticas electrónicas. (2025). *Electrónicas I+D*. Retrieved 8 de junio de 2025, from <https://www.didacticaselectronicas.com/>: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/thsl-500-8d-2mm-4h-varilla-trapezoidal-roscada-de-500mm-m8-paso-de-2mm-4-hilos-11005?search=Varilla+trapezoidal+roscada+de+500+&order=name+asc#attr=>

Didacticas electronicas. (2025). *Electronica I+D*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://www.didacticaselectronicas.com/>: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/pol-1248-servomotor-rotacion-continua-4-8-6v-3-3kg-cm-3146#attr=>

Didacticas electrónicas. (2025). *Electrónica I+D*. Retrieved 15 de febrero de 2025, from <https://www.didacticaselectronicas.com/>: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/kfl08-cojinete-con-rodamiento-horizontal-para-eje-de-8mm-unidad-9075#attr=>

Didacticas electrónicas. (2025). *Electrónica I+D*. Retrieved 9 de junio de 2025, from [www.didacticaselectronicas.com/](https://www.didacticaselectronicas.com/): <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/tuerca-t8-tuerca-t8-2x8mm-para-varilla-trapezoidal-4-hilos-8323?search=Tuerca+T8+para+varilla+trapezoidal+&order=name+asc#attr=>

Didacticas electronicas. (2025). *Electrónicas I+D*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://www.didacticaselectronicas.com/>: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/pol-4744-motorreductor-6-12vdc-150rpm-27kg-cm-engranaje-helicoidal-14364#attr=3164,3165,3170,3166,3167,3171,3168,3169>

Didacticas electrónicas. (2025). *Electrónicas I+D*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://www.didacticaselectronicas.com/>: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/mgn12h-450mm-guia-lineal-con-carro-para-imp-3d-450mm-11033?search=Gu%C3%ADa+lineal+con+carro&order=name+asc#attr=>

Didacticas electrónicas. (2025). *Electrónicas I+D*. Retrieved 8 de junio de 2025, from <https://www.didacticaselectronicas.com/>: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/af-d19125-6x8-acople-flexible-para-motor-de-6mm-a-8mm-8771?search=Acople+Flexible+para+Motor+de+6mm+a+8mm&order=name+asc#attr=>

Didacticas electrónicas. (2025). *Electrónicas I+D*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://www.didacticaselectronicas.com/>: <https://www.didacticaselectronicas.com/shop/pol-1084-soporte-para-motorreductor-37d-mm-1866?search=Soporte+para+motorreductor+37D+mm&order=name+asc#attr=>

Ecarletti. (21 de diciembre de 2018). *Robots didacticos* . Retrieved 1 de junio de 2025, from [robots-argentina.com.ar](https://robots-argentina.com.ar/): [https://robots-argentina.com.ar/didactica/arduino-reconocer-colores-con-el-modulo-tcs230/?utm\\_source=chatgpt.com](https://robots-argentina.com.ar/didactica/arduino-reconocer-colores-con-el-modulo-tcs230/?utm_source=chatgpt.com)

Ecuador), M. (., & FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, I. (2014). (A. C. Herdoíza, Editor) Retrieved 1 de junio de 2025, from Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y el Proyecto “Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático (MFSCC)” de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), a través del soporte f inanciero del Gobierno de: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e38440e9-a137-43cb-bdcf-f8fa1c8c6dce/content>

Electrónicláb. (20245). *Electrónicláb*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://electronilab.co/>: [https://electronilab.co/tienda/cable-usb-tipo-ab-de-impresora/?srsId=AfmBOorE0gbAMExVNMt5RUfrhwTWgf6AzDHndtXNkU68e\\_3CHmzQ4](https://electronilab.co/tienda/cable-usb-tipo-ab-de-impresora/?srsId=AfmBOorE0gbAMExVNMt5RUfrhwTWgf6AzDHndtXNkU68e_3CHmzQ4)

rzX

Envaselia. (2018). <https://www.ensavelia.com/>. Retrieved 3 de junio de 2025, from ensavelia S.L.: <https://www.ensavelia.com/blog/tereftalato-de-polietileno-id12.htm>

Fustamante Saldaña, W., & Vásquez Gamonal, L. (2018). *Diseño de una máquina automatizada clasificadora de cebolla por tamaño y color*. Retrieved 20 de junio de 2024, from <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/4417>

García Moreno, E. (2001). *AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES ROBÓTICA Y AUTOMÁTICA*. (J. Hervás Jorge , & R. Villanueva Micó, Edits.) Universitat Politècnica de València. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54693882/automatizacion\_de\_procesos\_industriales-libre.pdf?1507776738=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAUTOMATIZACION\_DE\_PROCESOS\_INDUSTRIALES.pdf&

Gobernación de Antioquia. (s.f.). *Conoce el municipio de Maceo y sus corregimientos*. Retrieved Junio de 2024, from <https://corregimientos.antioquia.gov.co/maceo/#:~:text=Poblaci%C3%B3n%3A%208.646%20habitantes>.

Gómez, S., & Guillermo, J. (2016). *Diagnóstico del impacto del plástico - botellas sobre el medio ambiente: un estado del arte*. Retrieved Junio de 2024, from <http://hdl.handle.net/11634/10047>

GREENPEACE. (2024). *GREENPEACE*. Retrieved 3 de Marzo de 2025, from <https://www.greenpeace.org/colombia/tag/plasticos/>

Henao, M. T. (6 de Marzo de 2025). Recolección de residuos en el municipio de Maceo (Antioquia). *Plan de gestión integral de residuos sólidos*. (J. S. Castañeda, Entrevistador) Maceo, Antioquia, Colombia.

Homecenter. (2025). *Homcenter*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://www.homecenter.com.co/>: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/495662/rodachina-plataforma-pvc-con-freno-azul/495662/>

I E Filiberto Restrepo Sierra. (16 de Agosto de 2022). *I E Filiberto Restrepo Sierra*. Retrieved 17 de Marzo de 2025, from [iefrs.edu.co](https://iefrs.edu.co/): <https://iefrs.edu.co/resena-historica-de-la-institucion-educativa/#:~:text=La%20Instituci%C3%B3n%20Educativa%20Filiberto%20Restrepo%20Sierra%20naci%C3%B3n%20por%20iniciativa%20de,que%20desplazar%20hacia%20otro%20lugar.>

I E Filiberto Restrepo Sierra. (17 de Agosto de 2022). *I E Filiberto Restrepo Sierra*. Retrieved 16 de Marzo de 2025, from [iefrs.edu.co](https://iefrs.edu.co/): <https://iefrs.edu.co/la-proteccion-del-ambiente-la-ecologia-y-la-preservacion-de-los-recursos-naturales/>

Importaciones SOCAMI. (2025). *Mecadolibre Colombia LTDA*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://articulo.mercadolibre.com.co/>: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-959602510-fuente-suichada-conmutada-industrial-12v-32a-s-40-12-sompom-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-959602510-fuente-suichada-conmutada-industrial-12v-32a-s-40-12-sompom-_JM)

Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra. (5 de Junio de 2023). EcoCode: Programando un futuro sostenible con MakeCode, y la recolección y separación de basuras. *EcoCode: Programando un futuro sostenible con MakeCode, y la recolección y separación de basuras*. Maceo, Antioquia, Colombia: Institución Educativa Filiberto Restrepo Sierra. Retrieved 15 de Junio de 2024.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1998). *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)*. Retrieved 9 de junio de 2025, from [https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma\\_%20NTC\\_2050\\_98\\_codigo\\_electrico\\_col.pdf](https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/Norma_%20NTC_2050_98_codigo_electrico_col.pdf)

keyence. (2025). *keyence Corporation*. Retrieved 1 de junio de 2025, from [keyence.com.mx](https://www.keyence.com.mx/): <https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/color/feature/>

Martínez, F., Hernandez , D., & Cárdenas Herrera, P. (7 de Enero de 2021). Máquina clasificadora de flores: Diseño y construcción. *Máquina clasificadora de flores: Diseño y construcción*, 27, 1, 40–45. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. <https://doi.org/10.24054/1692-7257>

Marzán Anillo, Á., & Gutiérrez Mejía, L. (2012). *Estado del arte de las tecnologías en control de movimiento*. Cartagena: Universidad tecnología de Bolívar. Retrieved 17 de Junio de 2024, from <https://hdl.handle.net/20.500.12585/2258>

Mecyplastec. (10 de febrero de 2024). *Mecyplastec Engineering Plastic*. Retrieved 3 de junio de 2025, from <https://mecyplastec.es/>: <https://mecyplastec.es/hdpe-usos-caracteristicas-y-beneficios-del-polietileno-de-alta-densidad/>

Mierzejewski, K., Kurzynska, A., Golubska, M., Calka, J., Gatecka, I., Szabelski, M., . . . Bogacka, I. (15 de December de 2023). *ScienceDirect*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166967>

Ministerio de minas y energía. (2013). *Ministerio de minas y energía*. Retrieved 9 de junio de 2025, from <https://www.minenergia.gov.co/>: <https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-rette/>

Muñoz, C. (7 de Marzo de 2025). Recolección de residuos en el municipio Maceo (Antioquia). *Manejo de los residuos solidos* . (J. S. Castañeda, Entrevistador) Maceo, Antioquia, Colombia.

Naylamp Mechatronics. (2023). *Naylamp Mechatronics SAC*. Retrieved 9 de junio de 2025, from [naylampmechatronics.com.](https://naylampmechatronics.com/): <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-shields/703-shield-borneras-terminales-uno.html>

neylampmechatronics. (2023). *Naylamp Mechatronics SAC*. Retrieved 9 de junio de 2025,

from <https://naylampmechatronics.com/>: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>

Perez sanchez , g. g., gomez vieyra , a., andrade gonzalez , e. a., & miranda tello, j. r. (septiembre de 2017). Máquina Prototipo para la Identificación y Separación de Residuos Plásticos. *Máquina Prototipo para la Identificación y Separación de Residuos Plásticos*. Revista de Prototipos tecnológicos. <https://doi.org/ecorfan.org>

Rapid direct. (2025). *Shenzhen Rapid Direct Co., Ltd*. Retrieved 2 de junio de 2025, from <https://www.rapiddirect.com>: <https://www.rapiddirect.com/es/materials/pmma-acrylic/>

Rojas, P., & Franco, O. (2022). *Diseño y cálculo de una separadora óptico-neumática de residuos plásticos*. Universitat Politècnica de València. Retrieved 20 de Junio de 2024, from <https://riunet.upv.es/handle/10251/185847>

Ruitai Mould. (2025). *company Ruitai Mould*. Retrieved 2 de junio de 2025, from <https://www.rtprototype.com/>: <https://www.rtprototype.com/what-is-acrylic-pmma/>

Santos, R., & Santos , S. (20 de diciembre de 2018). *RANDOM NERD TUTORIALS*. Retrieved 1 de junio de 2025, from [https://randomnerdtutorials.com/arduino-color-sensor-tcs230-tcs3200/?utm\\_source=chatgpt.com](https://randomnerdtutorials.com/arduino-color-sensor-tcs230-tcs3200/?utm_source=chatgpt.com)

Tapias, P. A. (8 de Junio de 2024). *Alerta paisa*. Retrieved 14 de Marzo de 2025, from [alertapaisa.com](http://alertapaisa.com): <https://www.alertapaisa.com/noticias/valle-de-aburra/diario-en-el-valle-de-aburra-se-generan-mas-de-tres-mil-toneladas-de>

The Engineering ToolBox. (2004). *The Engineering ToolBox*. Retrieved 1 de junio de 2025, from <https://www.engineeringtoolbox.com>: [https://www.engineeringtoolbox.com/wood-density-d\\_40.html](https://www.engineeringtoolbox.com/wood-density-d_40.html)

Vaishali , D., Simranjeet, S., Anith G, A., T S Sunil, K., Shashank, G., Jastin, S., . . . Joginder, S. (13 de Jan de 2022). *National Library of Medecine*. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01384-8>

Zuleta Valencia , J. F. (20 de Enero de 2022). *El Colombiano*. Retrieved 16 de Marzo de 2025, from Elcolombiano.com: <https://www.elcolombiano.com/antioquia/por-colapso-de-rellenos-sanitarios-3300-toneladas-de-basura-se-pasean-por-antioquia-EN16395551>

## Anexos

### **Anexo A: Entrevista secretaria agricultura medio ambiente. (coordinadora medio ambiente)**

Desde la oficina de agricultura y medio ambiente se ha evidenciado que la problemática principal del municipio es que las personas todavía les falta más sentido de cultura y pertenencia con la recolección de los residuos, últimamente ha ido mejorando. En Maceo hay rutas selectivas, lunes y jueves se hace la recolección de residuos aprovechables (reciclaje) y martes y viernes se hace la recolección de basura; la problemática es que muchas personas sacan los residuos aprovechables mezclados con la basura los días que no son, también la mala deposición de los residuos en el sector villas del ensueño donde no solo la comunidad de ahí saca la basura o los residuos los días que no son, sino también gente de sectores aledaños van y los depositan allá.

Hay puntos críticos en el municipio de los cuales hay 27 identificados hasta el momento. En la página de la alcaldía se hizo una publicación donde se estaban recogiendo residuos en uno de estos puntos críticos para que la gente tome más conciencia. Hace 6 años se manejaba el grupo de recuperadoras, son 3 señoras las cuales hacían la labor de recolección del reciclaje (residuos aprovechables) y hace un mes pasaron a la empresa de Aguas de Maceo; porque Aguas de Maceo es quien finalmente nos ejecuta toda el área del aseo del municipio. Hubo una mejora, el reciclaje que se vende se le hace un informe cada 3 meses a Corantioquia y se ha evidenciado que hay una mejora. (Henao, 2025)

## **Anexo B: Entrevista servicios públicos Aguas de Maceo.**

Implementar un plan de manejo articulado es muy duro, yo llevo aproximadamente 8, 9 meses yo ingrese el 21 de junio del año pasado. Y siempre he querido implementar. Y he venido haciendo como los estudios previos para poder implementar ese plan de manejo cierto. Siempre he dicho que para que la gente corra conciencia, hay que tocarles el bolsillo toda la humanidad somos como niños chiquitos y mucha gente dice que los niños chiquitos escuchan y escuchan cantaleta y no aprenden, pero es que todos somos así.

Mas de lo que yo he tratado de hacer campañas agresivas con agricultura sobre el reciclaje. Sobre los residuos y lo demás, eh, un ejemplo ayer por cañaveral (barrio del municipio), la gente sacando basura y reciclaje a las 2:00, 3:00, 4:00 de la tarde, entonces era lo que le dije a agricultura en una reunión con inspección, comando de policía y lo demás. Yo les decía, hasta que no lleguemos y veamos que metan un comparendo. Que ya la gente sepa en Maceo que si saca el reciclaje y la basura el día que no es o no hacen la separación adecuada se les va un comparendo, hombre que pesar llegar a esos extremos porque es la única forma que la gente coge miedo y aprende. Cambiando un poco el tema, pero es como relacionado, el transito descansa un fin de semana y a todos les da por picar motos, por parquear en cualquier parte, porque tiene que estar alguien encima con un pito o alguien que diga no lo hagas porque te voy a hacer un comparendo. Pues venga creamos conciencia y hagámoslo por inercia propia. porque voy a sacar el reciclaje o hacer la separación los días que no son?

Si algo eh, admiro mucho y es una colega que trabajó en el municipio de San Roque y esta logró implementar eso en el municipio, y el tema de reciclaje en San Roque es muy bien adecuado hace aproximadamente 4 o 5 años tuve en mis manos el proyecto, el plan de manejo del municipio San Rafael es del Oriente. Y acá el tema de los recursos es muy difícil porque el municipio no está empezando a monetizar con el tema de Cemex cierto. Cuando estemos hablando que Cemex empieza a funcionar el municipio puede empezar a aportar por ahí unos 8 mil millones de pesos, porque Cemex se va a ampliar, se empieza a amplificar este

tema de proyectos y lo demás. Pero obviamente como San Rafael es un municipio tan turístico le entra muy buenos recursos al municipio y allá tienen ruta de reciclaje, ruta de residuos orgánicos y la ruta de residuos ordinarios. Usted allá no puede sacar la basura con residuos orgánicos, un día para solo el reciclaje, otro para lo orgánico y otro para la basura.

Pero Maceo todavía no está preparado para eso, pero es triste que tengamos que estar encima de la comunidad, referente al reciclaje podemos mirar que la ruta de los residuos orgánicos y la del reciclaje se ha notado que hemos mejorado porque Doña María (recicladora) esta hasta el tope con la bodega. La idea desde que la recibí la estoy tratando de abordar, de mandar personal de Aguas de Maceo para que ayuden a separar. Con el proveedor del reciclaje quede con un compromiso de que un día de la semana venga con 2 trabajadores de él para hacer la separación y llenar las tulas y todo lo demás porque por una parte la quiero desocupar lavarla y pintarla, sabemos que una bodega de reciclaje es difícil mantenerla organizada, es muy difícil que no tengamos proveedores.

Cuando la recibí la cantidad de roedores era impresionante a un nivel que te pasaban casi por los pies, entonces que enfermedades le podían ocasionar a las señoras del reciclaje que trabajan allá, que son las que están haciendo ese papel tan importante. Entonces ahora ya la tenemos por ahí en la mitad, estoy teniendo todo el recibo fotográfico de como la recibí, que es lo que llevamos y a que es a lo que quiero llegar. Quiero desocupar todo el frente de la bodega para mandarlo a organizar y pintar, que sea algo bonito que posamos publicar y promover, y que la gente se motive a apoyar a estas señoras.

A mí el trabajo con el reciclaje me aumento mucho, tengo que pasar informes trimestrales a Corantioquia y quedar en estar muy pendientes de las señoras que si estén haciendo el trabajo adecuadamente porque si no lo hacen quien más organiza la bodega. El tema monetario no es como tan alto para mantener 10 o 15 trabajadores en esas. (Muñoz, 2025).

**Anexo C: Videos demostrativo del sistema de desplazamiento por sistema péndulo.**

Link: <https://youtu.be/GNbCFmv35fg?si=yA-luJBtlzidjPDO>

Link: [https://youtu.be/eFgcb7q2E\\_I?si=dDM50ZQMqKfic0GC](https://youtu.be/eFgcb7q2E_I?si=dDM50ZQMqKfic0GC)