



UNIVERSIDAD REMINGTON

FACULTAD DE INGENIERÍAS

**PROTOTIPO MÓDULO DE AUTOMATIZACIÓN
Y CLASIFICACIÓN INTELIGENTE**

INGENIERÍA DE SISTEMAS

PRESENTA

**DARIEN ALEXANDER OCAMPO BOTERO
DANIEL ALEJANDRO DOMÍNGUEZ TRIANA**

DIRECTOR DE TESIS

JUAN PINILLOS

**Tuluá – Valle Del Cauca
Colombia
2023**

Contents

1 Terminologías	3
2 Abreviaciones	4
3 Resumen	5
4 Metodología	6
4.1 Tipo de investigación	6
4.2 Alcance	6
5 Necesidad Identificada	7
6 Objetivos Generales y Específicos	8
6.1 Objetivo General	8
6.2 Objetivos Específicos	8
7 Marco Teórico y Estado del Arte	9
7.1 Introducción	9
7.2 Antecedentes	9
7.2.1 Estándar en Colombia	9
7.2.2 ECO-BOT	11
7.2.3 OPEN-BOT	12
7.2.4 Diferencia entre ECO-BOT y OPEN-BOT	13
7.2.5 Factor denominador	14
8 Metodología De Bitácora	15
9 Bitácora de creación	16
9.1 Etapa 1 (Junio 2022)	16
9.1.1 Fin Etapa 1 (Agosto 2022)	18
9.2 Etapa 2 (Enero 2023)	18
9.2.1 Fin Etapa 2 (Junio 2023)	22
9.3 Etapa 3 (Julio 2023)	23
9.3.1 Fin etapa 3 (Agosto 2023):	32
10 Especificaciones Técnicas	34
10.1 Primera etapa (Junio 2022 / Agosto 2022)	34
10.2 Segunda etapa (Enero 2023 / Junio 2023)	35
10.3 Tercera etapa (Julio 2023 / Agosto 2023)	36
10.4 Camera JeVois A33	37
10.5 HC-SR04	37
10.6 XKC-Y25-T12V	37
10.7 MG995	38
10.8 33GB-520	38
10.9 L298N	38
10.10WS2812B	39
10.11ESP32 Pins	40
10.12Raspberry Pi 3 Pins	40
11 Diagrama de Uso	41
12 Bases Teróricas	42
13 Enfoques Conceptuales	42
14 Marco Contextual	43
15 Marco Legal	43

16	Discusión	44
17	Referencias	46

1 Terminologías

Dado que el trabajo de esta tesis está relacionado con personas tanto del mundo académico como de la industria, pueden ser necesarias algunas aclaraciones debido a la diferente visión sobre distintos términos utilizados con frecuencia.

Automatización: *Proceso que realiza una tarea por sí mismo, sin intervención humana. A menudo realizar una tarea peligrosa, repetitiva, rápida o de alta precisión en lugar de humanos.* (Nof, 2009).

Inteligencia Artificial: *La inteligencia artificial (IA) es la capacidad de las máquinas para realizar tareas típicamente asociadas con la inteligencia humana, como el aprendizaje y la resolución de problemas.* (Wikipedia).

Modelo IA: *Un modelo de IA es un programa o algoritmo que utiliza un conjunto de datos para reconocer ciertos patrones y llegar a una conclusión o hacer una predicción cuando se le proporciona suficiente información.* (Google ML).

Proceso Semiautomático: *Un proceso semiautomático es un proceso en el que el equipo y los trabajadores humanos trabajan para ejecutar tareas. El equipo y los humanos no trabajan juntos. Más bien están separados geográficamente o se turnan para compartir el mismo espacio de trabajo, pero no al mismo tiempo. Un ejemplo es una cadena de montaje dividida en varias estaciones de trabajo; en la mitad de las estaciones los operarios realizan las operaciones de montaje, y en la otra mitad los robots realizan las operaciones de montaje. Las estaciones están unidas con cintas transportadoras.* (Krüger et al., 2009).

Proceso Automático Híbrido: *Un proceso automático híbrido es un proceso en el que humanos y equipos ejecutan tareas al mismo tiempo. Las personas y los equipos del sistema no están separados geográficamente y comparten el mismo espacio de trabajo. Un ejemplo es cuando un operario mueve un robot por retroalimentación de fuerza a través de un sensor de fuerzas a la posición deseada por el operario.* (Krüger et al., 2009).

Recuperación De Energía: *La recuperación de energía se produce cuando se recupera la energía de los materiales mediante la incineración en diferentes procesos para recuperar la energía térmica del material.* (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012a).

Reciclado: *Reciclar significa que los materiales se recogen y procesan para ser utilizados en una nueva o la misma aplicación a la que se destinaban originalmente* (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012b, Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU., 2012).

Reutilización: *Utilizar componentes de productos y emplearlos de nuevo en nuevos productos para el mismo fin que el previsto originalmente* (Johansson, 1997).

Reforma *El reacondicionamiento es cuando un producto se restaura cerca de su estado original, mediante la limpieza sustitución de piezas desgastadas y repintado. Todas estas medidas pueden llevarse a cabo si es necesario* (Penev, 1996).

Ordenar *La clasificación consiste en poner las cosas en grupos ordenados, por ejemplo, dependiendo del tipo de material, tamaño, rango, etc* (Longman, 1995).

Separacion *La separación se produce cuando dos cosas que están pegadas entre sí se separan y dejan de estar unidas.* (Longman, 1995).

2 Abreviaciones

- MAC: Módulo Automático de Clasificación
- IA: Inteligencia Artificial
- YOLO: You Only Look Once
- MVP: Producto Mínimo Viable
- DL: Deep Learning
- ML: Machine Learning
- PNL: Programación Neuro Lingüística

3 Resumen

El inadecuado manejo de los residuos sólidos representa un grave problema ambiental en la actualidad. Se estima que menos del 10 por-ciento de los desechos son reciclados correctamente en la mayoría de países (PNUMA, 2018), lo cual se debe en gran medida a la falta de una cultura de separación de materiales reciclables desde los hogares y fuentes de origen. Ante esta problemática, la presente investigación propone el desarrollo de un prototipo de módulo automatizado para la detección y clasificación de residuos plásticos y metálicos, buscando facilitar y motivar el reciclaje efectivo mediante una solución tecnológica innovadora.

El prototipo consiste en una estructura modular con bandas transportadoras y una cámara para la detección de residuos e identificación de plásticos, con módulos microcontroladores de automatización mediante algoritmos programados en lenguaje C++ y Python. Su funcionamiento se basa en la detección de los materiales con Deep Learning implementando y entrenando el modelo YOLO (You Only Look Once) y sus capas de detección, para clasificarlos y dirigirlos hacia contenedores específicos a través del accionamiento de bandas.

El marco teórico de la investigación se complementa con tangentes interdisciplinarias en la programación neurolingüística y teorías del aprendizaje cognitivas y conductuales que exploran brevemente conceptos de otras disciplinas que se conectan con la investigación. Según autores como Bandler y Grinder (1975), los patrones mentales y conductuales arraigados se pueden reestructurar generando nuevas conexiones neuronales y reforzando experiencias que modelen los comportamientos deseados. Por ello, la interacción vivencial con este prototipo busca modificar creencias e instaurar hábitos de separación responsable de residuos, mediante la observación, modelamiento y retroalimentación implícita que permitirá esta tecnología mimetizarse sutilmente con la vida humana.

La metodología consistió en el diseño mecánico, electrónico y de software del prototipo, seleccionando componentes óptimos. Luego se realizaron pruebas experimentales para validar su precisión en la clasificación de materiales reciclables, analizando métricas como exactitud, sensibilidad y especificidad con la inferencia de las imágenes y observando como los mecanismos tradicionales como sensores no eran lo óptimo para este tipo de mecanismos de detección y clasificación. Los resultados preliminares fueron prometedores en el uso de IA, con una efectividad de detección superior al 85 por-ciento.

No obstante, se requiere aún refinar el prototipo y hacer nuevas pruebas en condiciones reales... Asimismo, se complementará con estrategias enfocadas en el cambio cultural, utilizando elementos motivacionales y de concientización.

De esta manera, esta solución integral busca atacar las causas conductuales y estructurales... Con adecuadas iteraciones y pruebas en campo, y en sinergia con intervenciones socio-culturales, esta innovación tiene el potencial de optimizar los procesos de separación y reciclaje desde el origen, mitigando el impacto ambiental de los residuos sólidos.

4 Metodología

4.1 Tipo de investigación

La presente investigación se abordará desde un enfoque tecnológico con alcance experimental y respaldado con una bitácora de viabilidad y optimización técnica, buscando en primer lugar determinar la falta de infraestructura a través de un estudio de mecanismos tecnológico industriales y el avance de la tecnología del Deep Learning.

Posteriormente, se utilizará la investigación para desarrollar un prototipo tecnológico como propuesta de solución alternativa al problema identificado sobre el estándar de reciclaje tradicional. Este tipo de investigación se centra en el diseño de artefactos, su construcción, pruebas y análisis de viabilidad técnica para un MVP.

Paralelamente, se realizará una investigación referencial para crear las bases tangenciales explorando algunos conceptos en las teorías psicológicas y conductuales que sustenten estrategias para promover cambios de hábitos en la población.

- Investigación bibliográfica sobre tecnologías de clasificación de residuos y teorías de aprendizaje cognitivas y conductuales.
- Estudio experimental correlacional entre infraestructura y hábitos de reciclaje.
- Modelado y diseño conceptual del módulo clasificador de residuos.
- Creación de prototipo inicial y pruebas experimentales para validación.
- Análisis de métricas y retroalimentación para refinamiento del prototipo.
- Desarrollo de propuesta referenciales psicológicas para reforzamiento de conductas basada en la PNL.
- Implementación de acercamientos al prototipo de maquina como indicadores de luces.
- Análisis cuantitativo de resultados para evaluar efectividad del prototipo.
- Formulación de conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

De esta manera, la metodología abarca las fases de investigación, diseño, creación, pruebas y análisis tanto del prototipo tecnológico como de la base psicológica propuesta.

4.2 Alcance

El alcance de la presente investigación es descriptivo, correlacional y experimental.

Descriptivo, ya que se especificarán detalladamente las características técnicas, materiales, procesos de construcción y funcionamiento del prototipo tecnológico propuesto. Esto permitirá caracterizar la solución de manera clara.

Correlacional, porque inicialmente se determinará la relación entre dos variables como los hábitos de reciclaje y la disponibilidad de infraestructura para la clasificación de residuos. Se busca aproximar cómo se vinculan estas dos problemáticas.

El estudio se basa en una investigación experimental de corte cuantitativo, pues no se manipularán variables cualitativas desde la experimentación con usuarios sino desde la interdisciplina teórica y referencial para expandir no tan solo aspectos puramente tecnológicos, sino correlacionar aspectos vivenciales y el uso de la tecnología. La creación y pruebas controladas del prototipo permitirán una aproximación cuasiexperimental para validar su funcionalidad.

Los resultados del análisis descriptivo del prototipo y del estudio correlacional previo entre variables, permitirán sentar las bases y recomendaciones para el desarrollo futuro de una posible investigación experimental más rigurosa y de campo teniendo unas bases teóricas fuertes que permitan aumentar la brecha de aceptación.

Por lo tanto, el alcance de esta tesis es establecer las características de una solución tecnológica factible y determinar la asociación entre factores subyacentes al bajo reciclaje efectivo. Esto proveerá entendimiento para una potencial estructura complementaria hacia una máquina.

5 Necesidad Identificada

La inadecuada separación y clasificación de los residuos reciclables es una problemática que se ha intensificado en los últimos años debido a múltiples factores interrelacionados. Por un lado, la infraestructura y logística de recolección selectiva de materiales son claramente insuficientes en la mayoría de las ciudades del país. Los contenedores y rutas de recolección diferenciada no tienen la cobertura ni eficiencia necesaria (Ramos, 2021).

Adicionalmente, diversos estudios de comportamiento indican que existe una baja cultura ambiental en la población para realizar una correcta separación de residuos desde el origen. Las personas tienden a desechar los materiales mezclados por comodidad, desinformación o simple por la falta de disponibilidad de contenedores clasificados cerca de sus hogares y trabajos. Según Smith (2020), la mayoría de los individuos no están conscientes del impacto ambiental negativo que genera la inadecuada clasificación de desechos, y por tanto no le dan la debida importancia. Desde la perspectiva de la programación neurolingüística, estos patrones conductuales inadecuados se relacionan con experiencias previas, creencias arraigadas y hábitos automáticos que es necesario transformar.

Las personas aprenden y adquieren comportamientos en gran medida a través de sus experiencias sensoriales y el procesamiento de información del entorno. Cuando ciertas conexiones neuronales se refuerzan repetidamente, se genera una especie de "programa mental" que condiciona las acciones (Bandler y Grinder, 1975). Romper estos patrones existentes e instaurar unos más beneficiosos ambientalmente requiere estrategias efectivas desde la psicología conductual y cognitiva.

En ese sentido, las campañas de sensibilización tradicionales han demostrado tener un alcance limitado. Se necesitan métodos más vivenciales e innovadores que logren modificar esquemas mentales arraigados en las personas. Algunas técnicas propuestas desde la PNL como el reencuadre y la visualización pueden ser útiles en este proceso de transformación de hábitos. Asimismo, el modelamiento a través del aprendizaje vicario también juega un papel relevante. Las personas tienden a replicar acciones que observan de otros en su entorno cercano. Por ello, la promoción de líderes comunitarios que refuercen con el ejemplo la clasificación responsable de residuos puede tener un efecto positivo (Ramos et al, 2022).

No obstante, tan importante como lo cultural es la creación de infraestructuras y sistemas que faciliten y viabilicen un adecuado reciclaje. Las soluciones puramente conductuales tienen un impacto parcial si las condiciones materiales no están dadas. Se requiere un enfoque sistémico, desde lo psicosocial hasta lo tecnológico, para aumentar realmente los niveles de separación y aprovechamiento de materiales.

Ante este panorama, se requieren soluciones innovadoras para mejorar los procesos de separación de materiales reciclables, tanto a nivel de infraestructura como de reforzamiento de la cultura ambiental responsable en todos los ámbitos. Los avances en tecnologías de clasificación automatizada de residuos pueden complementar de manera sinérgica los esfuerzos en el campo social y conductual.

Precisamente, en los últimos años, los avances en DL (Deep Learning) y visión artificial han permitido desarrollar algoritmos innovadores para la clasificación automática de objetos, como el modelo YOLO (You Only Look Once). YOLO utiliza redes neuronales convolucionales para detectar y categorizar múltiples objetos en imágenes y videos en tiempo real. Investigadores han entrenado modelos YOLO para identificar y separar residuos reciclables con precisiones sobre el 96.4 por-ciento (Xiangkui Jiang, 2022).

Este tipo de tecnologías de vanguardia representan una oportunidad para complementar soluciones conductuales y de infraestructura, al permitir la clasificación automatizada de materiales reciclables mediante procesamiento de imágenes, liberando este trabajo a las personas. La presente propuesta de desarrollo de un prototipo de máquina inteligente busca aprovechar estas innovaciones en AI y visión artificial para contribuir a mejorar los procesos de separación de residuos desde la fuente.

6 Objetivos Generales y Específicos

6.1 Objetivo General

Desarrollar y construir un prototipo modular de sistema automatizado para clasificar residuos plásticos, utilizando visión artificial por cámara para la detección de objetos, actuadores mecánicos para la separación física, y algoritmos de control para gestionar los procesos, con el fin de lograr la separación efectiva de los residuos plásticos desde el origen.

6.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una bitácora para documentar el desarrollo del prototipo, incluyendo la selección y experimentación de componentes.
- Seleccionar los sensores, actuadores y demás componentes óptimos para el hardware y estructura mecánica.
- Implementar una cámara de alta velocidad y baja latencia con procesador interno para transmisión de video.
- Seleccionar un material reciclable para la experimentación y documentación inicial.
- Compilar y etiquetar datasets de imágenes por tipo de material reciclable.
- Fine-Tuning un modelo de Deep Learning YOLO para detectar materiales en las imágenes.
- Desarrollar una API para hacer inferencia el modelo y procesar imágenes de la cámara.
- Programar algoritmos de control, clasificación y separación con ESP32.
- Probar y validar la precisión del prototipo en la categorización de residuos.

7 Marco Teórico y Estado del Arte

7.1 Introducción

El marco teórico aporta las bases conceptuales y enfoques psicológicos relevantes para comprender y buscar correlación al problema de la baja tasa de reciclaje efectivo. Aspectos como motivación, cambios de conducta y hábitos son clave en este contexto.

El estado del arte permite conocer los estudios y soluciones tecnológicas previas enfocadas en optimizar la clasificación de residuos, como prototipos de máquinas automáticas identificando sus alcances y limitaciones orientadas en el diseño para así dar una propuesta alternativa simple, mediante una exhaustiva revisión bibliográfica que ayude la detección de conceptos e ideas, para recolectar fundamentación técnica de soluciones previas sobre clasificación de residuos. Este estado del arte soportara el proceso de documentación sobre una bitácora de creación bajo etapas que contarán todo el desarrollo de investigación, creación y experimentación. Toda la línea temporal se dividirá con etapas y fechas consecutivas hasta su finalización de prototipado aplicable.

En conjunto, el marco teórico y estado del arte brindan una perspectiva integral para desarrollar y fundamentar un nuevo prototipo tecnológico, como el propuesto en este proyecto. Las teorías psicológicas y conductuales sustentan el potencial de la interacción con la máquina para reforzar comportamientos beneficiosos de reciclaje. Los antecedentes técnicos evitan repetir soluciones previas y enfocan el diseño en innovaciones factibles de esta manera, la investigación teórica y práctica en ambos componentes es esencial para construir y probar un prototipo, como una contribución viable y novedosa, respaldada en conocimiento científico multidisciplinario. Permite crear una solución tecnológica fundamentada, con mayor probabilidad de éxito e impacto.

7.2 Antecedentes

7.2.1 Estándar en Colombia

“A pesar de todos los esfuerzos por incentivar el reciclaje en Colombia el método de recolección sigue siendo despelotado. Unos usan dos canecas. Otros usan tres. Para no hablar de la variedad de colores en las bolsas que se asignan para separar residuos. Con el objetivo de aclarar el panorama, y teniendo en cuenta las experiencias y avances de algunas ciudades del país como Bogotá, Bucaramanga o Pereira, Minambiente expidió la Resolución No. 2184 de 2019, mediante la cual empezará a regir en el 2021, el código de colores blanco, negro y verde para la separación de residuos en la fuente (PactoGlobal, 2021)”

Según la Resolución 2184 de 2019 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia ha implementado un nuevo código de colores para la separación de residuos sólidos, con los siguientes códigos:

- **Caneca blanca:** Residuos inorgánicos aprovechables, como papel, cartón, plásticos, vidrio y metales.
- **Caneca negra:** Residuos no aprovechables, como papel higiénico, servilletas, papeles y cartones contaminados con comida, y papeles metalizados, entre otros.
- **Caneca verde:** Residuos orgánicos aprovechables, como restos de comida y desechos agrícolas.

Es importante tener en cuenta que esta normativa entró en vigencia a partir del 1 de enero de 2021 y busca estandarizar el proceso de reciclaje en todo el país.



Figura 1. Pacto Global Colombia

7.2.2 ECO-BOT

Es una iniciativa que promueve hábitos de reciclaje más sostenibles, incentivando a las personas a responsabilizarse del uso diario de desechos plásticos y dar el primer paso hacia una vida más amigable con el planeta. Son máquinas ubicadas en universidades y centros comerciales, en donde cualquier persona puede depositar botellas plásticas, envases plásticos, botellas llenas de empaques flexibles y Tetra Paks, y a cambio recibir cupones de descuento en restaurantes, tiendas, apps y marcas asociadas, promoviendo así un cambio cultural alrededor del reciclaje.

Dicho proyecto colombiano comenzó principalmente en los campus universitarios de la ICESI (Cali). La preocupación por la conservación del medio ambiente unió a los hermanos Lina y Santiago Aramburo y los inspiró a emprender la difícil tarea de transformar la conciencia ambiental en su comunidad y crear un entorno más limpio y menos contaminado. Gracias a la alianza con diferentes empresas se pudo incentivar a las personas con diferentes descuentos y cupones, de esta manera la aceptación de la máquina fue bien recibida por la comunidad.

Según la misma fuente de información (Ecobot) “En países europeos se recicla entre el 50 y el 60 por ciento de los residuos, mientras que en Colombia vamos por el 17 por-ciento Si hablamos de plásticos, a nivel mundial no se está reciclando más del 9 por-ciento”. Por lo tanto, a través de la buena culturización del reciclaje se busca mitigar el impacto generado por el plástico a nivel global.

Como se mencionó anteriormente, el reciclaje en Colombia no ha sido óptimo, principalmente por su baja remuneración económica. Razón por la que la máquina de reciclaje inteligente está basada en modelos extranjeros, principalmente de origen español y alemán.

Debido a la gran cantidad de plásticos (contaminante presente a nivel mundial) que se concentran mayormente en el mar, el impacto creciente del mal uso y reutilización de residuos ha creado islas artificiales alrededor del planeta, tan alta es su presencia y tamaño; que algunas pueden llegar a medir 1.5 millones de km² (islas de basura del tamaño de países o superior a los mismos). Cuestión que debe revertirse a través del buen reciclaje, la concientización y culturización de la sociedad para mitigar la crisis ambiental.

En cuanto a su desempeño se puede destacar la compleja programación que utiliza como método de persuasión hacia las multitudes: “el aparato tiene tres orificios: uno para desechar los envases y otro para las tapas y un tercero emite los bonos de descuento. E incluye una pantalla publicitaria donde anuncian empresas amigables con el medio ambiente y/o comprometidas con su cuidado”. Todo esto según el periódico elpais- nota realizada a Ecobot.

Además, este cuenta con un innovador sensor de proximidad, que a un metro detecta presencia humana y comienza a interactuar, dando las instrucciones de uso, como en una forma de invitar a reciclar. No obstante, este no cuenta con comandos de voz, sino, una interfaz de simple interacción visual que da acceso al usuario con la cantidad de bonos/descuentos que puede recibir por su aporte con el medio ambiente.

Cabe aclarar que el implementar métodos tan atractivos para el reciclaje también suponen retos mayores, como lo son las compensaciones monetarias, pues en Colombia la retribución económica es proporcionalmente menor a la de países más desarrollados como lo son Alemania y España. Por medio de Ecobot se fomenta poco a poco un reciclaje activo e intuitivo, en el que las personas van comprendiendo los beneficios del reciclaje y como benefician al planeta.

Fuente: <https://www.ecobot.com.co/sobre-ecobot;>

<https://www.elpais.com.co/cali/la-maquina-de-estos-hermanos-calenos-lo-premia-por-reciclar.html>

7.2.3 OPEN-BOT

Es un sistema de reciclaje inteligente compuesto por código abierto (Open Source) y mejorable en un futuro, fue diseñado para desempeñarse como una máquina de rápida interacción y entretenimiento, ya que; es mucho más factible y atractivo para una sociedad guiada por la tecnología y el modernismo sociocultural. Sin embargo, contar con una integración de esta clase crea una serie de retos en los cuales intervienen múltiples factores de origen social, informático, cultural, académico, económico y demás.

Open Bot cuenta con dos configuraciones: “configuración visual y configuración electrónica. La unidad central de procesos del sistema se encuentra comandada por una placa Raspberry Pi 4, mientras que su interfaz de usuario fue desarrollada con el lenguaje Python que es un lenguaje interpretado de alto nivel y a su vez gestionada por actuadores para su proceso”. Léase la metodología y el funcionamiento de la máquina en la tesis de la fuente del documento.

También se estima que cada máquina tenga la capacidad de almacenar 350 botellas de plástico, esto para poder tener ciclos de acumulación más extensos. Cabe aclarar, que estos sistemas inteligentes cuentan con una programación que les permite enviar señales de advertencias a los encargados cuando está llegando a su tope máximo.

Open bot enfatiza en promover el reciclaje en las comunidades a través de máquinas inteligentes. Por lo convencional e innovador que esto genera hacia las personas que transitan por los alrededores, además, si interactúan con estas por su propia curiosidad harán de una interacción amigable que les permitirá obtener una recompensa de por medio. El sistema de compensaciones hace más satisfactoria la experiencia de los usuarios. Puesto que, el reciclaje debe ser una responsabilidad socioambiental que se promueva e inculque en la sociedad que aún ignora la problemática ambiental que se vive (desinterés, desinformación, pereza mental, cultura.)

La recolección de plásticos o PET puede ser un hecho mal remunerado, además de ser una tarea poco satisfactoria por la cantidad necesaria para una compensación “adecuada”. A través de un sistema inteligente e interactivo Open Bot procura crear alternativas de reciclaje eficaz y rápido, que permita al usuario poder aportar con el medio ambiente, y, no necesariamente debe conseguir una recompensa económica, sino, también un premio. Por supuesto, este hecho hace que su sistema de operaciones resulte más sofisticado, especialmente cuando cuenta con un apartado de registro, historial, capacidad de almacenamiento y entre otros aspectos que incluye.

Según los mismos autores, a través de una cita mencionan que: “El principal objetivo de los sistemas de reciclado es reducir la tasa de impacto al medio ambiente con el reciclaje facilitando dicha labor a la sociedad, incluso, motivar que el reciclaje se vuelva un hábito de cultura (o penalizar a quien no recicle). Son máquinas, robots o contenedores con las últimas tecnologías, además cuentan con sistemas que interpretan a la persona que recicla, el tipo de residuo que introduce al contenedor, y por ello dan dinero al reciclar. Los sistemas inteligentes de reciclaje alertan a la empresa encargada cuando han llegado a su capacidad máxima de almacenada de desperdicios. Los contenedores inteligentes o sistemas de reciclado inteligente compactan los residuos para una mayor captación, estos sistemas en la actualidad se adaptan a personas con discapacidad con ayuda de tecnologías innovadoras que adaptan los orificios de acceso hacia el usuario. Los sistemas actualmente modernos cuentan con pantallas de interacción en las que ofrecen información y esto hace que el reciclaje sea innovador y entretenido.” Esto principalmente para profundizar en una inclusión de una máquina inteligente que apoye y facilite el reciclaje en la sociedad, incentivando mayoritariamente a las personas que transiten por sitios estratégicos (centros comerciales).

7.2.4 Diferencia entre ECO-BOT y OPEN-BOT

Por lo visto ambas máquinas son similares, no obstante, tienen ciertas diferencias que las hacen aún más complejas en sus propios funcionamientos. Por ejemplo, Ecobot puede manejar múltiples materiales de reciclaje además del plástico, como lo es el cartón o las botellas concentradas con bolsas plásticas en su interior. Por otro lado, Open Bot puede manejar grandes cantidades de plástico (350 botellas) en las cuales también puede incluir PET (polietileno tereftalato) Haciendo que sus procesos de reciclaje y rotación sean distintos.

Open Bot por su parte está orientado a tener una interfaz de registro que acumula logros (cantidad de botellas recicladas, diferentes tipos, etc.) Compensando a su usuario con dulces y premios de consumo rápido, asesorándolo para que registre y maneje un historial de uso por parte de la máquina, no obstante, también este tiene una opción de reciclaje libre, es decir, sin compensación o registro. Por el contrario, Ecobot maneja cupones de descuento para las tiendas asociadas a la cultura del reciclaje, creando un método de interacción más simple y fugaz, permitiendo que el usuario conozca fácilmente las ventajas de aportar con el reciclaje en el punto más cercano, cabe recalcar, que Ecobot tiene la capacidad de “detectar” a los transeúntes a su alrededor para iniciar su programación y atraer visualmente a las personas.

Otra notoria diferencia es su origen y método de inclusión en puntos clave, cabe aclarar que, aunque ambas tienen el mismo objetivo de apoyar e incentivar el reciclaje; sus funcionamientos y capacidades son totalmente diferenciales, empezando por el alcance que tienen en la sociedad. Por ejemplo, Ecobot ha sido altamente reconocida en Cali gracias a las notas informativas y el buen acogimiento empresarial que ha recibido por parte de los empresarios asociados y comprometidos. No solo, su promoción, notas informativas, publicidad y alianzas han hecho que dicho proyecto sea atractivo y comprometedor con los colombianos, creando así un prestigio y reconocimiento en la sociedad.

Por supuesto, pese a que Open Bot no es reconocido por ser un proyecto presente en la “Universidad Técnica de Ambato” establecida en el país de “Ecuador” se reconoce, por mucho, que su sistema de programación (Software y Hardware) es altamente sofisticado, en especial por la interfaz de uso y componentes que le permiten tener un amplio almacenamiento de botellas plásticas y PET, cuestión que les hizo invertir más tiempo y programación del mismo proyecto. La inclusión de un registro, historial, sensores de reconocimiento y división crea una brecha amplia para su optimización e inclusión.

Puesto que ambos proyectos están dirigidos para la recolección y reciclaje de botellas plásticas, este creciente interés de las personas por apoyar estos proyectos ha ido aumentando, favoreciendo proporcionalmente los nuevos métodos de reciclaje. Por supuesto, el culturizar, incentivar, promocionar y llamar a las comunidades es una tarea difícil que requiere más que un “robot inteligente”. Es cuestión de profundización, investigaciones y métodos que permitan dar el salto de “17 por-ciento de reciclaje” a un “50/60 por-ciento” que permita aumentar no solo las condiciones ambientales del país, sino también su recibimiento por grandes empresas interesadas por aportar.

7.2.5 Factor denominador

Al evaluar un total de tres tesis que trabajan con máquinas de reciclaje guiada por cámara pudimos concluir:

La cámara permite una mayor reacción a la hora de recibir botellas plásticas, además de permitir la inclusión y análisis de botellas elaboradas de otro material, como, por ejemplo, vidrio o aluminio. Según lo planteado en las tres tesis, se enfatiza en un margen de error promedio al 0.8 por-ciento haciendo que esta pueda procesar correctamente la información de la botella y posteriormente su reciclado.

Incluir cámaras programables con asistencia IA dan facilidad al acceso de información, aumentan el rendimiento de la máquina y su optimización en los procesos internos a la hora de reciclar. En gran parte esta medida es tomada por múltiples empresas para mitigar errores y aumentar la producción de X producto, además, también este tipo de sistemas permiten analizar los controles de calidad de ciertas actividades. Finalmente, al disponer de un apartado visual integrado en la máquina dará la posibilidad de que los errores se reduzcan y que su función se reparta en variadas tareas. Hay que reiterar el hecho de que estos sistemas innovadores y de rápida reacción son muy utilizados por empresas por su alta asertividad al efectuar trabajos mecánicos y analíticos/prácticos.

Volver atractivo al proyecto con una interfaz visual y de fácil uso impulsará el interés de los usuarios. Permitiéndoles tener múltiples opciones de reciclado, interacciones más influyentes para su sentido visual y finalmente permitirá que la propia máquina pueda optar por mejoras a futuro. Es decir, su capacidad evolutiva y transición será más accesible para los programadores e ingenieros encargados del proyecto.

Monitorear y programar a través de una interfaz visual guiada por una cámara puede ser sofisticado y complejo, sin embargo; al aumentar la capacidad de variables por métodos de visualización le dará un mayor acceso y recepción de información a la I.A, ya que, dicho proyecto estará impulsado por una inteligencia artificial interactiva y predictiva que permita controlar la clasificación de botellas, a parte, la detección de objetos o productos ajenos al reciclaje serán mucho más fáciles de hallar por medio de la cámara.

Finalmente, los modelos actualizados con cámara y funcionales son mucho más receptivos a la hora de expedir cierta información, acelerando procesos e innovando con ciertas integraciones autónomas que harán del mismo servicio una experiencia única y atractiva que impacte con la cultura de los usuarios. Si bien lo ideal de este prototipo es el incentivar directa e indirectamente a las personas para que reciclen, debemos comprender que el evolucionar el proyecto y el permitirle trascender con mejoras más sofisticadas darán como resultado impactos más profundos y valiosos dentro de la comunidad.

8 Metodología De Bitácora

Una bitácora o diario de diseño es un elemento clave en la investigación tecnológica para el desarrollo de prototipos, ya que provee un registro cronológico de ideas, pruebas, decisiones de diseño e iteraciones incrementales. Documentar este proceso de forma transparente facilita la replicabilidad, la colaboración y el perfeccionamiento continuo del prototipo. La bitácora captura detalles y aprendizajes invaluable más allá de los resultados finales.

- Dividir el proceso en etapas significativas como investigación inicial, diseño conceptual, construcción de prototipo inicial, pruebas, entre otros. Al comenzar una etapa se realizará una entrada detallada de la bitácora describiendo objetivos, actividades planeadas y recursos requeridos.
- Durante la etapa, se registran entradas frecuentes con la fecha indicando avances, experimentos realizados, resultados, obstáculos y decisiones tomadas.
- Al finalizar la etapa se realiza una entrada de cierre más exhaustiva, analizando aprendizajes clave, cambios realizados al prototipo y explicando la lógica.

Las etapas 1 y 2 documentadas hasta ahora representaron una fase experimental y de prueba y error, donde el objetivo principal fue adquirir aprendizajes sobre diseños mecánicos y mecatrónicos que sentaran las bases para la estructura de la máquina clasificadora final. Si bien se implementaron versiones preliminares con componentes básicos, la intención en estas etapas tempranas no fue crear un prototipo totalmente funcional, sino utilizar la metodología de ensayo y error para comprender los requerimientos y obstáculos en el desarrollo de la máquina. En estas etapas las pruebas realizadas y los obstáculos enfrentados fueron de gran utilidad para entender cómo lograr un sistema mecánico, antes de incorporar la visión artificial y el aprendizaje automático en etapas posteriores. Por ello, estos primeros intentos representan bases de aprendizaje esenciales que guiarán el diseño y construcción de la máquina clasificadora por visión artificial para la etapa 3.

9 Bitácora de creación

9.1 Etapa 1 (Junio 2022)

En esta bitácora documentaremos paso a paso el desarrollo de nuestra propuesta, el cómo comenzó y como fue elaborada a media del tiempo para dar un acercamiento a como fue maquetado todo el marco teórico desde la idea.

(04/06/2022 8:00 am): En búsqueda a las herramientas y reforzamiento de nuestra idea del prototipo MAC realizamos una investigación del estado del arte de otros proyectos en internet y evidenciamos que existe una empresa en Colombia con una máquina que automatiza la recolección de plástico y tiene el mismo principio que tenemos que es de reciclar para ayudar a la crisis medioambiental llamada Ecobot.

En esta etapa se realiza a su vez una investigación de que recursos serían necesarios para emplear un prototipo mecatrónico con especificaciones técnicas simples para probar la viabilidad y aprobación de un anteproyecto. Así con la ayuda de los proyectos relacionados que encontramos en el estado del arte observamos que los sistemas siempre funcionan a base de sensores con capacidades de conductividad y capacitancia electrónica.

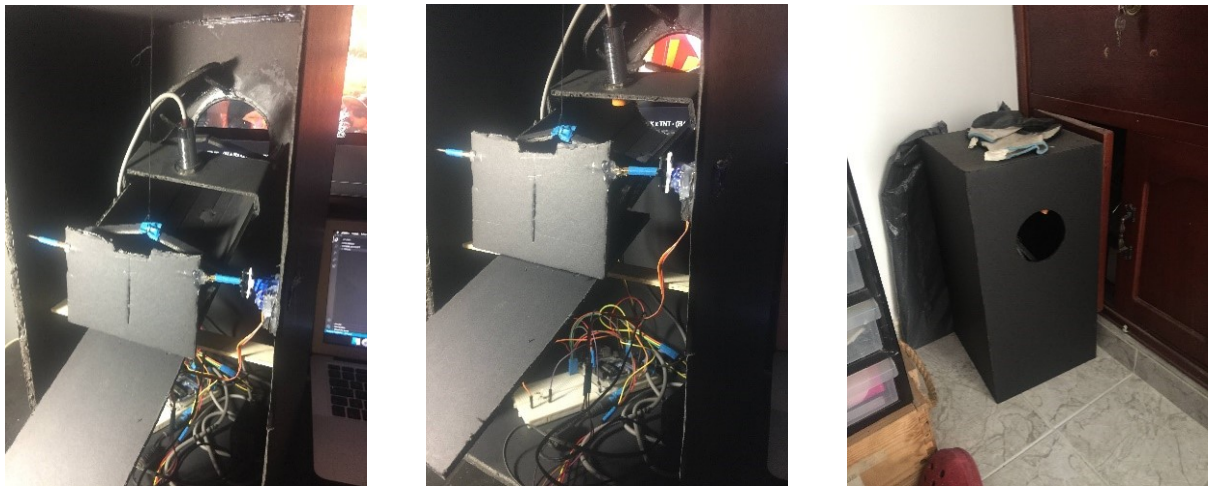


Figure 1: Estructura Cartón MAC (Etapa 1)

Esto nos ayudó en aumentar la visión de cómo se puede crear detección de materiales y si es metálico o no metálico controlados desde un sistema interno como procesador de lógica de los sensores llegando a la conclusión que necesitaremos un microcontrolador para procesar la lógica del circuito como una ESP32 acompañado de protoboard, jumpers, ultrasonido, sensor de peso, final de carrera.

Ya teniendo claro los materiales a usar para el prototipo nos disponemos a la fabricación de la caja tratando de usar materiales básicos y de bajo costo para así mismo realizar cambios en el momento que no fuera óptimo su diseño. Se llega a la conclusión de que sería una caja que dispone de un agujero por la cual entraría el material a detectar y caería por gravedad a un canal en el cual estarían instalados lo que es el sensor capacitivo que se encargaría en determinar si el objeto ingresado es plástico o vidrio para reforzar la fiabilidad si alguna materia fue introducida se posiciona un sensor de peso el cual ayudaría como soporte de redundancia.

Toma de acción para la siguiente línea de tiempo: Para la siguiente línea de tiempo fue evidente un problema y es que cuando debía realizarse un cálculo de peso respecto en los envases de reciclaje sean de plástico o vidrio. Cada uno tenía una medida y peso diferente. Por lo que el diseño debía ser mejor calculado a través de un sensor capacitivo e inductivo visto en el estado del arte por una tesis Colombiana de la Universidad Católica.

(20/08/2022 02:00 pm): En el estado del arte se pudo encontrar una tesis de unos estudiantes colombianos de la Universidad Católica de Colombia llamada (Sistema de control automático para el reconocimiento de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico, 2018)

en el cual evidenciamos como solucionar dicho problema el cual era de implementar un sensor inductivo que fuese capaz por medio del campo electromagnético la detección de objetos metálicos. “Este tipo de sensores sirven para la detección de presencia de objetos o materiales metálicos en un rango de distancias que va desde 1 mm a unos 30 mm, aproximadamente, con una resolución del orden de décimas de milímetro. (Cristian y Jorge, 2018)”

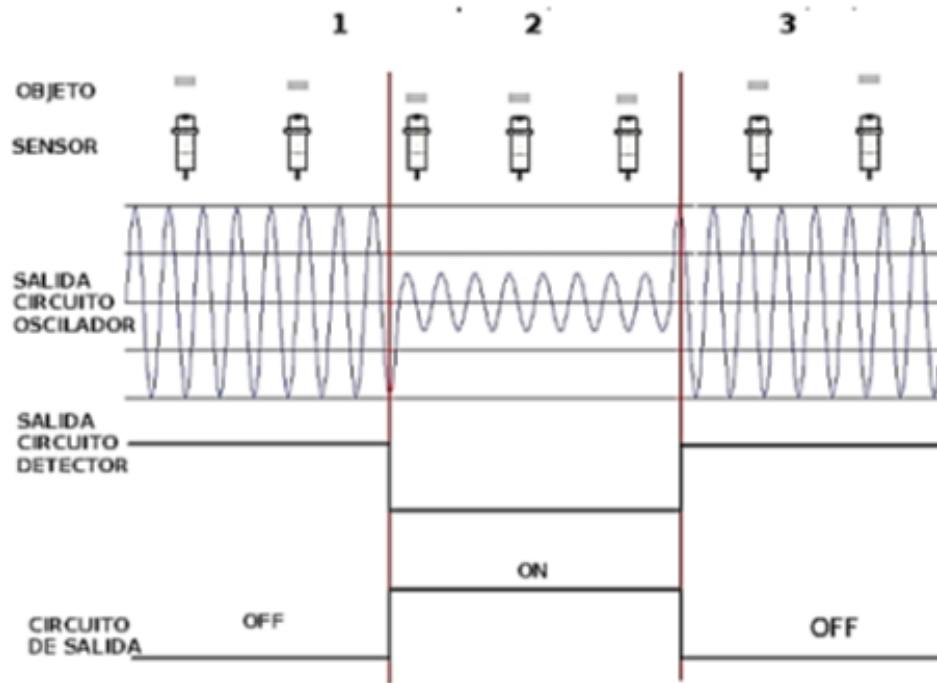


Figure 2: Mapa de ondas Sensor Inductivo

Este sensor apoyaría la fiabilidad clara de que materiales están pasando, si son de plástico o vidrio con la detección de su capacitancia o si es metálico mediante su atracción magnética por el campo que genera el sensor inductivo al momento de pasar por el canal de clasificación autónoma dentro del prototipo hacia el contenedor.

Al integrar los sensores capacitivo e inductivo se debió implementar una placa PCV con tres luces Led que permitieran identificar el material de la botella o material de reciclaje. Por este medio la capacidad de diferenciación era más medible.



Figure 3: Circuito eléctrico interior MAC (Etapa 1)

Después de la resolución de problemas, se presenta la idea de anteproyecto para la validación y puesta en marcha de una investigación más robusta para poder atacar diferentes aspectos y problemas al momento del reciclaje. Entre estos aspectos está el psicológico donde tocamos la cultura de masas el aprendizaje implícito y la capacidad de la población de adaptar nuevas metodologías de reciclaje desde el estándar común y la evolución de este hacia una visión tecnológica.

9.1.1 Fin Etapa 1 (Agosto 2022)

Ya teniendo la aprobación para continuar con el anteproyecto se toma la decisión de realizar una pausa de 5 meses con el fin de ver todo lo que aprendimos y empezar reforzar conocimientos desde el anteproyecto y su evolución a la MAC.

A su vez en esta pausa realizar pruebas y verificar que los sensores usados hasta el momento son los más óptimos o si toca realizar cambios a otros sensores o se quitarían definitivamente dando paso a otro tipo de sensores u otras tecnologías. Nos surge también la idea de ver si la maquetación de la máquina actualmente es la más óptima en cuanto a funcionamiento o si toca realizar cambios para disponer ya sea de más espacio o que todo el proceso de verificación del material ingresado es correcto ya que actualmente el espacio en el interior es algo pequeño.

Puntos Clave

- Tras una investigación se hace un tanteo de los recursos necesarios para emplear el prototipo: sensores, chips y placas.
- Maquetación para idea de diseños de las máquinas vistas en el estado del arte.
- Al principio de la idea la recolección de recursos fue básica, tratando de usar materiales básicos y de bajo costo que permitan una elaboración más aceptable. En un principio se probó el uso de un sensor de ultrasonido, después se optó por sensores capacitivos e inductivos.
- La idea inicial de la máquina de reciclaje surge desde mucho antes de la primera bitácora, es decir; había un plan, pero no una investigación. A través del tiempo se fueron puliendo las ideas, planteando mejores y posibilidades dentro del marco teórico y de oportunidades.
- Se creó el primer planteamiento de anteproyecto para presentar y validar su continuidad.

9.2 Etapa 2 (Enero 2023)

El desarrollo de la segunda etapa comienza con la planeación y análisis de patentes chinas referentes a mecanismos de ingreso y transporte de materiales para estructurar una lluvia de ideas diferentes sobre cómo podríamos crear un diseño modular de transporte y posición de sensores, saliéndonos de materiales endebles y estructuras dimensionales limitadas.

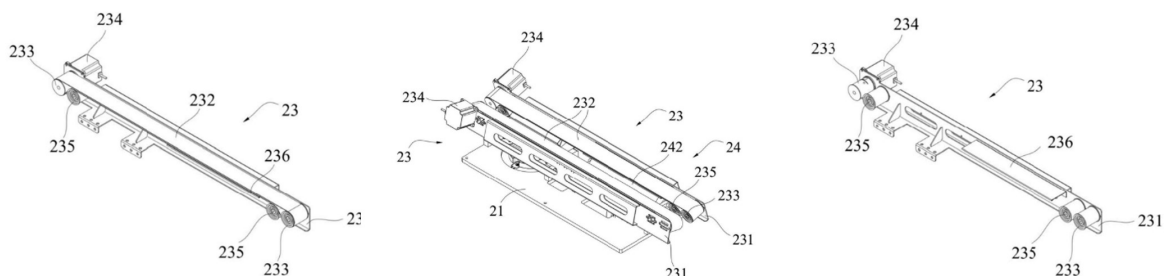


Figure 4: Patente china CN112320151A

El prototipo de la patente china CN112320151A se convirtió en un referente para este prototipo MAC gracias a su diseño modular, donde usa bandas y un sistema central que controla la articulación de las bandas para que tengan un movimiento de apertura hacia los laterales y un motor central que permite el movimiento horizontal de las dos bandas para así decidir donde las bandas desecharan el material.

(10/01/2023 8:00 am): La idea partió de crear un pequeño prototipo con palos de cartelera de balsa hacía una maquetación mejor estructurada del prototipo.

Se consiguen los materiales necesarios: cartón espumado, bandas transportadoras, tornillería, tubos de aluminio, barras de hierro, etc. Con estos insumos se parte de una idea más ambiciosa, retomando el concepto anterior. Inicialmente se procede con lo más sencillo, reutilizando parte del diseño previo. Sin embargo, en esta iteración ya no se empleará una caja que hace ingresar el material por gravedad, en su lugar se incorporarán motores que impulsen el ingreso de los residuos para su clasificación. Los motores permitirán controlar de mejor manera la entrada de material al sistema, de esta forma con los materiales conseguidos y aprendizajes de la primera versión etapa 1, se esbozan los planos para una nueva propuesta optimizada y motorizada del prototipo.

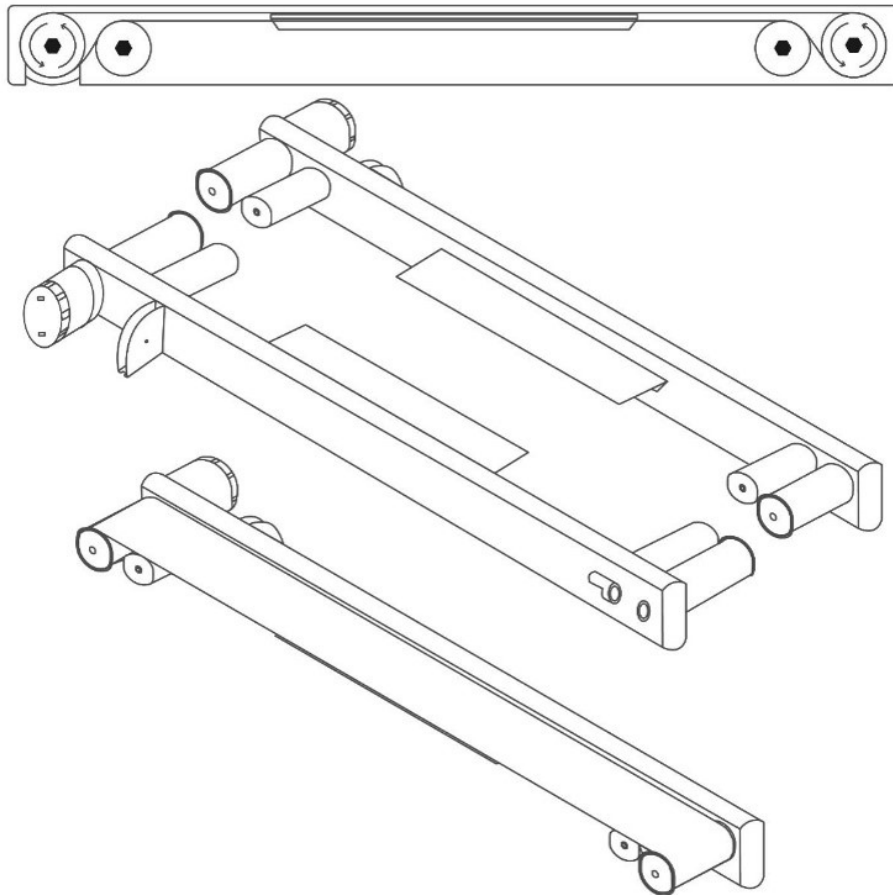


Figure 5: Primera aproximación de Brazos MAC Esquema

Los detalles de dimensiones, estructura y selección de componentes se irán definiendo según los requerimientos del sistema general. El objetivo es aprovechar lo construido y generar una solución más eficiente e integral, basándonos en 2 patentes chinas las cuales son usadas para el mismo sistema de ingreso del material se realizan 2 rodillos que su funcionamiento sería el de hacer girar la botella y así en un futuro instalar un escáner de código de barras facilitando la detección de las etiquetas en los materiales recolectando su información, también siendo útil para el sensor de nivel de líquido agitando la botella para mejorar su censado. Esta contaría con 2 bandas que su función sería al momento de la botella ingresar ella caería encima de los rodillos y se realizaría todo el censado y al momento del material ser aceptado, las bandas se moverán abrazando el material y accionando sus motores haciendo que las bandas empujen a su interior el material y así clasificar con un direccionamiento. Al ver que no todos los materiales tienen los mismos tamaños, el sensor de líquido no alcanzaba a detectar el agua si se dejaba en una posición, entonces la idea fue de realizar un pequeño elevador para que el sensor subiera o bajara si el material era de tamaño grande o pequeño.

La mejor opción es reforzar la base, bandas y rodillos con tubos de PVC usando este en forma de placas ya que este material permitía soportar la máquina si se usaba debidamente y lograr finalizar un prototipo sólido capaz de transportar materiales sin discriminar su composición o su contenido. Una vez realizados estos refuerzos seguíamos en constantes pruebas para así definir si la MAC seguía siendo débil o ya se solucionaba el problema de movimientos fuertes en todas las estructuras y es así como pasan varios días de pruebas constantes y de ajustes en como articular los movimientos de las bandas.

Ya teniendo en cuenta estas ideas sobre qué realizaría cada módulo en la MAC se procede a su fabricación y una vez teniendo ya las partes separadas se realizan pruebas constantemente montando una estructura momentánea para así diagnosticar cuales serían los puntos a tomar en cuenta y si se debía realizar algún cambio antes de avanzar en lo que sería la instalación de sensores.

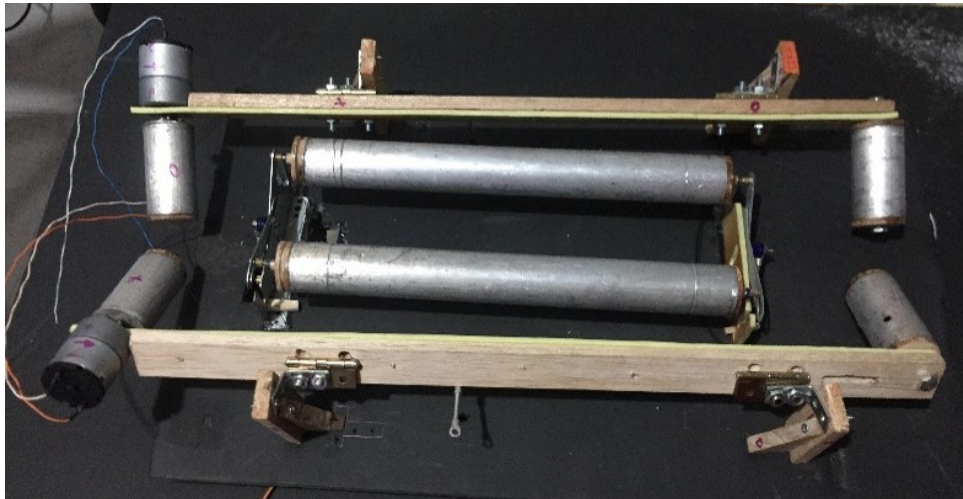


Figure 6: Modulo Brazos MAC Madera

Partiendo de la primera maquetación y observando los listones del cuerpo que tiene cada banda transportadora y el sistema de ascensor, notamos que el uso de un ascensor en los rodillos del centro los cuales hacen girar las botellas, no iban a ser necesario ya que sería mejor implementar el sistema de elevador en el sensor de detección de líquidos y dejar los rodillo estáticos a una altura determinada para posicionar el sensor de líquidos en el medio de los dos rodillos como se tenía pensado anteriormente, así podremos ajustar los grados de movimiento del servo motor a la altura que deseemos y este haga un buen contacto.

Teniendo ya una idea solida de la estructura que íbamos a manejar gracias a la maqueta preliminar, nos pusimos a la tarea de trabajar con materiales de mejor calidad y de mayor resistencia como el aluminio.

Esta implementación del aluminio en la estructura nos permitirá que la solides de todo el mecanismo sea más rígida y liviana a la vez ya que al ser un metal menos denso que el hierro u otro metal. Investigando y preguntando a personas que llegaron a fabricar rodillos para bandas nos guía en una solución la cual sería fabricar los rodillos que serían los encargados de mover la banda y estos serían fabricados a partir de una barra de nylon duro, también llevarían balineras para tener un mejor rodamiento cuando girara la banda.

Toma de acción para la siguiente línea de tiempo: En esta línea de tiempo, los problemas de estructura eran mucho menores comparado a fases anteriores, es así que se realiza una pausa en las pruebas y se decide ejecutar un cambio drástico en toda la estructura de los brazos. Este cambio responde a la necesidad de soportar adecuadamente el peso de los materiales que serán introducidos. Las barras de aluminio brindan la firmeza estructural necesaria para prevenir fallos durante el funcionamiento del prototipo.

En síntesis, según los requerimientos en la implementación de los sensores, se determina reforzar todas las estructuras con un material más resistente y durable como el aluminio o los rodillos de nailon. Esto da paso a una versión optimizada del prototipo.



Figure 7: Modulo Brazos MAC Hierro

(25/03/2023 8:00 am): Ya teniendo conocimiento de los problemas anteriores en cuanto a estructura, pasamos a la fabricación, corte y montaje de todo el sistema de bandas, pero esta vez se realiza con tubos cuadrados y estos llevarían en su interior todo el sistema de bandas.

La implementación de rodillos centrales se mantiene ya que nos permite mover las botellas que son insertadas en el mecanismo y hacer una mejor detección de los sensores que ya para esta siguiente línea temporal, serán implementados.



Figure 8: Prototipo MAC Modelo 3D

En la figura previa se muestra una aproximación 3D del diseño propuesto para la implementación de los sensores capacitivos e inductivos. Esta base servirá para distribuir los diversos componentes electrónicos e industriales. Dado que las botellas a clasificar tendrán distintos tamaños, una estructura rígida y estática no resulta óptima para la ubicación flexible de los sensores. Por ello, se optó por un sistema controlado por un servomotor, que funcionará como elevador para calibrar la altura según las medidas de cada botella.

Este elevador permitirá subir o bajar la plataforma donde se colocarán los sensores para mantener los materiales siempre a la misma distancia de ellos, independientemente de su tamaño. El servomotor se controlará con un microcontrolador que recibirá las ordenes de subir o bajar a una medida estándar que usaremos.

De esta manera, se intentará lograr una lectura uniforme y consistente de las señales de los sensores capacitivos e inductivos, al focalizar su rango de detección efectivo en la zona óptima para la clasificación.

El ajuste dinámico de altura compensará las variaciones en las dimensiones de las botellas, garantizando precisión y efectividad en la categorización de los materiales reciclables.



Figure 9: A. Conjunto de Sensores - B. Brazos cúbicos y Sistema de Servomotores

Con estas imágenes que podemos evidenciar del prototipo en la etapa 2, nos damos cuenta que el sistema MAC está listo para ser puesto en experimentación y así ver si el mecanismo de la MAC era óptimo para ser usado como sistema modular de detección y clasificación. Se implementó en el agujero de ingreso un sensor ultrasónico para lograr detectar cuando el sistema debía ser activado así encender la lógica que estará programada en la ESP32 como placa microcontroladora.

9.2.1 Fin Etapa 2 (Junio 2023)

Tras obtener todos los componentes necesarios para el montaje de la MAC, se realizó una estructura más firme y robusta de todo el sistema por donde se trasladarían los materiales para su clasificación. El sensor de agua seguía funcionando como en días previos, con su sistema de elevación para ajustar la altura según el tamaño del material ingresado. Al realizar nuevas pruebas de funcionamiento y resistencia estructural, se corroboró que los problemas iniciales de debilidad mecánica se habían solucionado satisfactoriamente.

Con la estructura ya optimizada, se procedió a evaluar el desempeño de los distintos sensores para determinar si requerían reemplazo por alternativas más eficientes. Se realizaron múltiples lecturas con materiales de prueba, analizando la precisión en la detección de aluminio, plástico y otros posibles materiales para pasar a el desarrollo de la siguiente etapa.

9.3 Etapa 3 (Julio 2023)

En esta etapa de desarrollo vamos a mencionar las limitaciones que se vieron en las etapas anteriores con los avances de prototipado y pruebas de funcionamiento, las características más impactantes que se piensan cambiar y sus justificaciones junto la evolución del prototipo a una investigación más rigurosa y de avance científico desde la inteligencia artificial y los modelos de DL (Deep Learning).

(01/07/2023 2:00 pm): Hemos logrado un prototipo con sensores capacitivos e inductivos posicionados en la parte superior de la MAC para una articulación vertical en el centro del prototipado, viendo que estos sensores solo son capaces de detectar la obstrucción mediante un campo conductivo que da a la detección de un objeto de material sólido como plástico, cartón y vidrios. En el caso de los metálicos el campo capacitivo se encarga de detectar la composición de los materiales conductivos.

En esta etapa de desarrollo identificamos limitaciones importantes con la detección basada únicamente en sensores capacitivos e inductivos. Si bien estos sensores pueden detectar la presencia y propiedades conductoras de materiales, tienen una capacidad muy limitada para categorizar de forma precisa diferentes tipos de plásticos, vidrios y metales visualmente similares. Necesitamos transitar hacia un enfoque más avanzado y robusto para la identificación de materiales reciclables. La visión artificial mediante el procesamiento y análisis de imágenes y video representa una alternativa muy prometedora. Las técnicas modernas de reconocimiento visual y Deep Learning ahora permiten detectar y clasificar cientos de objetos con un alto grado de precisión.

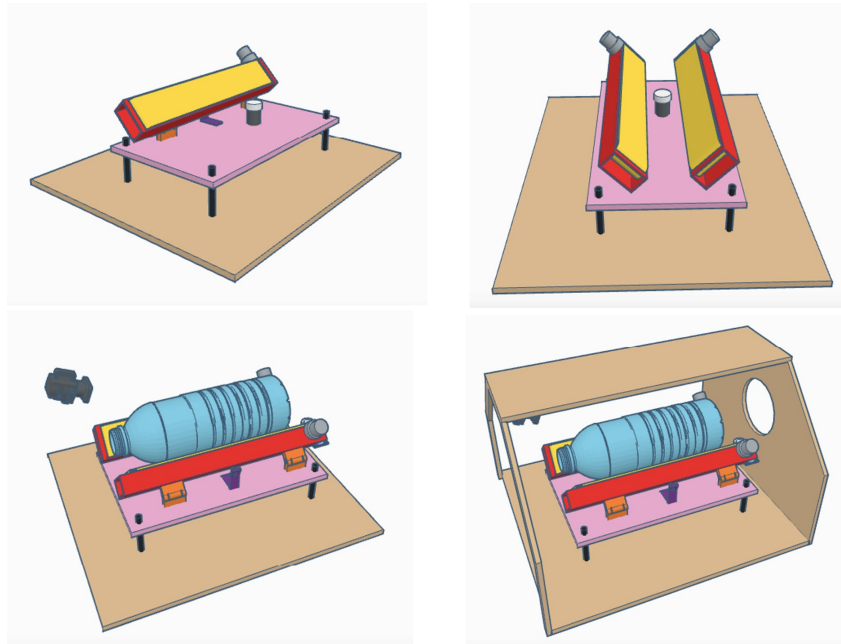


Figure 10: Prototipo MAC Modelo 3D Cámara

Al incorporar una cámara y algoritmos de visión computacional en nuestro prototipo, esperamos superar las limitaciones de los sensores electro-conductivos. La clasificación visual nos permitirá categorizar materiales de forma más confiable, incluso diferentes tipos de plásticos como PET, PP, HDPE, etc.

Los siguientes pasos serán investigar modelos de Deep Learning para detección de objetos, recopilar datos de entrenamiento en forma de imágenes etiquetadas, y comenzar las pruebas para entrenar y validar un clasificador visual óptimo para nuestra aplicación. De esta manera esperamos llevar el prototipo al siguiente nivel mediante técnicas de vanguardia en IA y computer vision.

Toma de acción para la siguiente línea de tiempo: Para la siguiente línea de tiempo investigativa recolectaremos las herramientas necesarias para lograr plantear los objetivos clave del desarrollo e implementación de inteligencia artificial con modelos de Deep Learning en el prototipo, ahora tenemos en mente algunos modelos de visión ya que hemos trabajado con redes neuronales como Efficient Net de

Google y hemos visto su gran capacidad de detección asertiva, en esta lista de posibles integraciones y entrenamientos están: VGG, Efficient Det, YOLO, SSD y Faster R-CNN.

(10/07/2023 9:00 am): Después de transcurrir los días de investigación, se logró recolectar la información necesaria para encontrar la orientación adecuada de desarrollo del modelo de visión que mejor se adapte a nuestro caso, ya que nuestra necesidad es la de crear un enfoque de detección de solo un material en específico que tengan similitud y podamos detectar sus rasgos que diferencian a todo el entorno donde en el caso de este prototipo los espacios de la MAC forman parte de la imagen como se ven en las siguientes ilustraciones.

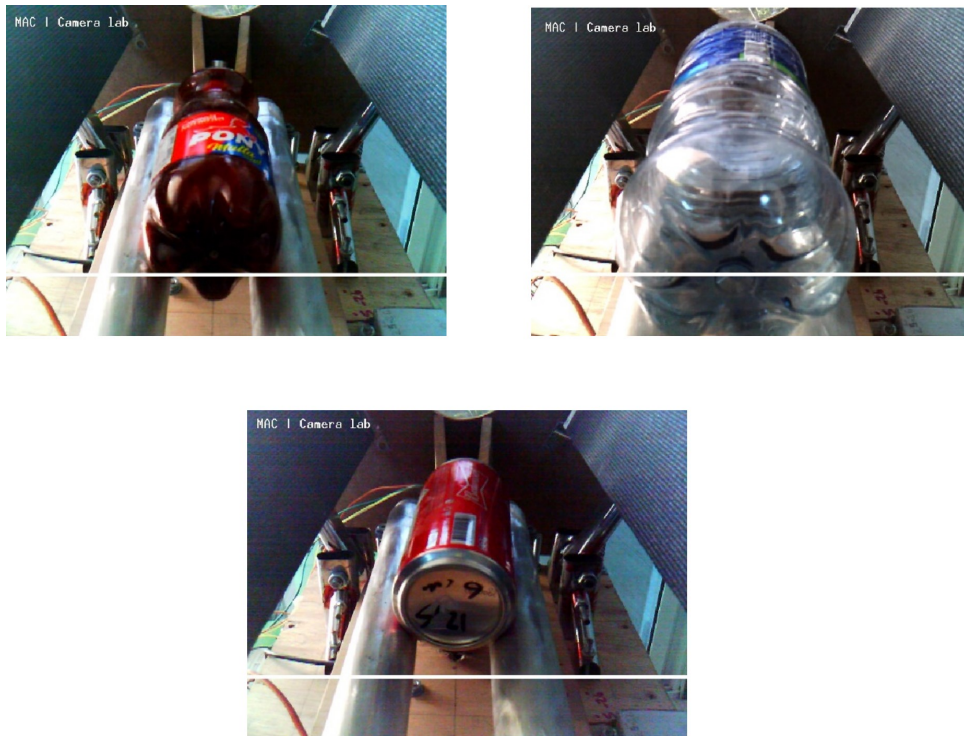


Figure 11: Prototipo MAC Pruebas de Cámara Interior

Las tecnologías anterior mente mencionadas el (01/08/2023 2:00 pm) sobre modelos de Deep Learning como VGG y Efficient Det, etc. Han logrado marcar hitos de avance tecnológico en el campo de la visión artificial gracias a sus potencias de procesamiento y entrenamiento. Dentro de la Big Data y los grandes datasets de imágenes que la comunidad recolecta, existe una librería de datos llamada COCO Object Detection (Common Objects in Context, url: <https://cocodataset.org/>) la cual tiene más de 70 categorías de objetos y 330K imágenes (¡200K etiquetas).

Esta librería de datos fue usada para crear una gráfica en la cual muestra la eficiencia de detección en modelos antes mencionados, aquí la grafía: Vemos que las líneas con mayor precisión y latencia es el modelo YOLO en sus diferentes versiones y entrenamientos con COCO, cada modelo fue usado con diferentes imágenes como inputs de diferentes dimensiones y proporciones de aspecto, demostrando siempre más latencia y mejor resultado en la detección de objetos.

Ya que YOLO (You Only Look Once) es el candidato perfecto para el entrenamiento y detección de objetos, vamos a enfocarnos en modelar y mejorar las capas profundas de aprendizaje con nuestros datos haciendo fine-tuning hacia la detección de botellas plásticas como primer laboratorio de trato de los datos entrenamiento (Imágenes y etiquetas). Después de lograr un buen entrenamiento para la detección de botellas plásticas, procederemos a mejorar la fiabilidad de la detección y así pasar a la siguiente fase de recolección de datos y entrenamiento con las botellas de vidrio, aluminio y cartón.

Toma de acción para la siguiente línea de tiempo: Ya que YOLO fue seleccionado como modelo base de fine-tuning y reforzado de sus capas de profundidad, para la siguiente bitácora documentaremos la investigación de las versiones que YOLO tiene y definiremos la versión que se usara partiendo desde

MS COCO Object Detection

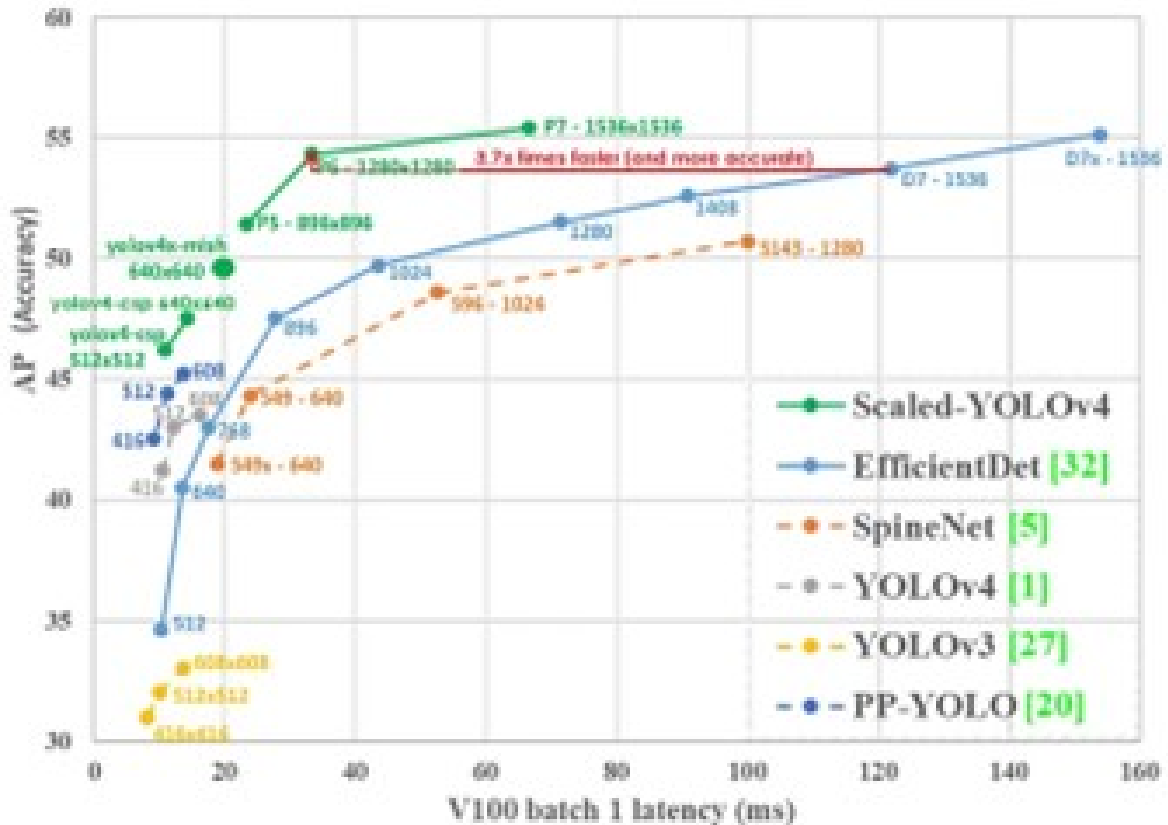


Figure 12: Modelo YOLO Gráfica de Detección

la eficiencia y rapidez al momento de la detección y cuál va a ser el primer dataset de botellas que se seleccionara iniciando por el plástico.

(20/07/2023 5:00 pm): Después de realizar una investigación y análisis de la documentación de Ultralytics la empresa que acogió el modelo YOLO desde su versión YOLOv5 en adelante, se pudo recolectar unos puntos clave que ayudan en la definición de cuál de todas las versiones es la mejor para entrenar y nos de mayor eficiencia en consumo del cómputo, velocidad de predicción, procesamiento de imágenes como Prompt (Dato inicial de predicción) y segmentación de objetos para la alta precisión, viendo toda la documentación de las versiones desde la página principal de Ultralytics se realizó una tabla de mejoras y diferencias donde nos ayudara a ver los puntos clave de los modelos y así lograr una selección asertiva de cual se adapta mejor a nuestro caso de uso:

Viendo esta tabla de comparaciones, nos dimos cuenta de que el modelo más actual es YOLOv8 con muy buenas características como las de alta precisión al momento de segmentar y detectar objetos, así como su optimización al momento de ejecución con su alto rendimiento en comparación de sus modelos previos.

Gracias al avance de la tecnología en este año 2023, el desarrollo de nuevas tecnologías bajo la comunidad OpenSource han hecho un salto abismal creciendo la curva de mejoramiento y optimización de los modelos de DL y sus capas neuronales, dándole mejora al rendimiento del cómputo con las GPU y TPU como hardware de procesamiento. Gracias a estas mejoras, el modelo YOLOv8 es el hermano mayor de toda la familia.

Ya que seleccionamos el modelo, ahora viene la búsqueda de los datos que serán clasificados y depurados con sus etiquetas y divididos como entrenamiento, test y validación. Con ayuda de plataformas como

Versión	Fecha de Lanzamiento	Mejoras y Diferencias
YOLOv1	2016	- Detecta múltiples objetos en una sola imagen en tiempo real. - Utiliza una sola red neuronal convolucional para la detección de objetos.
YOLOv2	2017	- Utiliza BatchNorm, resolución más alta y cajas de anclaje para mejorar la precisión. - Utiliza Darknet-19 como su arquitectura de red.
YOLOv3	2018	- Utiliza características de múltiples escalas para la detección de objetos. - Utiliza Darknet-53 como su arquitectura de red. - Mejora la precisión en la detección de objetos pequeños.
YOLOv4	2020	- Combina varias técnicas nuevas para mejorar la precisión y velocidad de la red neuronal convolucional. - Utiliza CSP como su arquitectura de red.
YOLOv5	2020	- Es extremadamente rápido y ligero en comparación con YOLOv4. - La precisión es comparable a la de YOLOv4.
YOLOv6	2021	- Rediseña el tronco y el cuello de YOLO con hardware en mente. - Introduce el EfficientRep Backbone y Rep-PAN Neck.
YOLOv8	2023	- Utiliza detección sin anclaje y nuevas capas convolucionales para hacer predicciones más precisas. - Ofrece un rendimiento sin igual en términos de velocidad y precisión. - Proporciona un marco unificado para entrenar modelos para la detección de objetos, segmentación de instancias y clasificación de imágenes.

Table 1: Historial de Versiones de YOLO (You Only Look Once)

(<https://universe.roboflow.com/>) que tiene grandes cantidades de datos (big-data), podemos seleccionar botellas de plástico para descargar y logar recolectar todos los datasets ya divididos.

Conjunto	Número de Imágenes
Entrenamiento	2434 imágenes
Test	156 imágenes
Validación	424 imágenes

Table 2: Número de imágenes en conjuntos de datos

Toma de acción para la siguiente línea de tiempo: Ya que se logró en esta etapa la evolución en la recolección de los datos para el entrenamiento y el modelo, para la siguiente línea de tiempo pasaremos a organizar el laboratorio de trabajo para realizar el entrenamiento y reforzamiento de las capas neuronales del modelo para la detección de botellas de plástico que estarán dentro del prototipo MAC y el entrenamiento de YOLO-MAC.

(28/07/2023 9:00 am): Empezando mañana y organizando nuestro laboratorio de entrenamiento iniciamos creando en nuestra computadora un entorno virtual usando el lenguaje de programación Python ya que este lenguaje de alto nivel nos permite la manipulación de diversas librerías para el preprocesamiento de los datos y gestión de las redes neuronales de los modelos de IA sea Machine Learning o Deep Learning. Ya que el entrenamiento de estos modelos como YOLO consume recursos de hardware exigentes, en el computador que haremos el entrenamiento contaremos con los recursos de hardware aceptables para el entrenamiento usando una GPU NVIDIA Tesla V100, esta GPU está hecha para la aceleración del aprendizaje profundo y HPC (Computación de alto rendimiento).

Usando el SDK de Ultralytics y Python, se desarrolló el pipeline de entrenamiento aprovechando la transferencia de aprendizaje permitiéndonos construir de forma eficiente un modelo personalizado de alta calidad, aprovechando el conocimiento previo de modelos pre-entrenados que detectan patrones genéricos como formas, texturas y bordes en imágenes.

YOLOv8 puede localizar y delimitar objetos en imágenes mediante cuadros delimitadores, aplicaremos transferencia de aprendizaje conservando las capas iniciales de YOLOv8 que capturan patrones universales, y reemplazando las capas finales para especializarlas en nuestros datos. De esta manera, logramos un modelo personalizado de manera rápida y óptima, aprovechando el conocimiento previo sobre detección visual a el cual etiquetaremos como YOLO-MAC.

Epoch	GPU_mem	box_loss	cls_loss	df_l_loss	Instances	Size
1/100	4.52G	0.9877	1.555	1.081	13	640: 100% 153/153 [01:05<00:00, 2.34it/s]
	Class	Images	Instances	Box(P	R	mAP50 mAP50-95): 100% 5/5 [00:03<00:00, 1.34it/s]
	all	156	359	0.318	0.643	0.502 0.342
Epoch	GPU_mem	box_loss	cls_loss	df_l_loss	Instances	Size
2/100	4.56G	0.9267	0.8156	1.047	163	640: 81% 124/153 [00:47<00:10, 2.90it/s]

Figure 13: Modelo YOLO Datos de Epochs Fine-Tuning

Las épocas (epochs) son las iteraciones de entrenamiento que realiza un modelo de aprendizaje DL al pasar por el conjunto completo de datos de entrenamiento, haciendo que, en cada época, el modelo se entrene utilizando todos los ejemplos de entrenamiento, con el objetivo de minimizar la función de pérdida y mejorar la precisión en la tarea deseada.

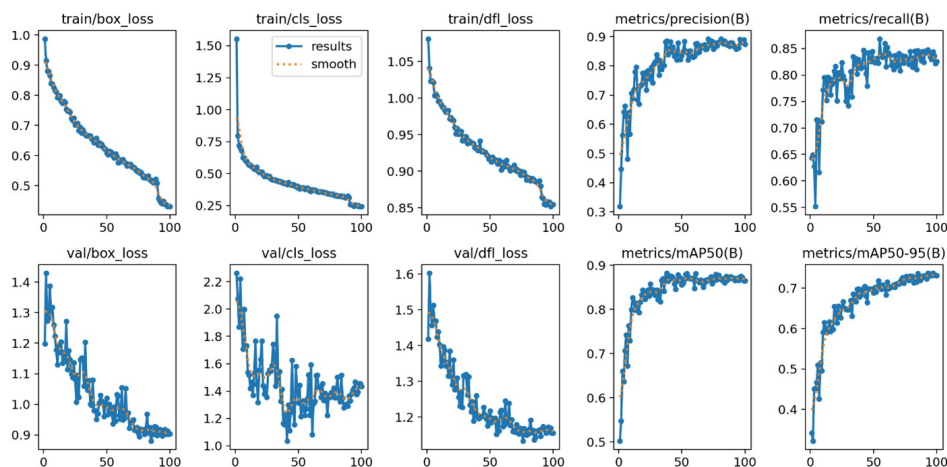


Figure 14: Modelo YOLO Métricas Fine-Tuning

Durante el entrenamiento, se suele dividir los datos en lotes (batches) como se pueden ver en la imagen de entrenamiento en la columna instancias donde la primera época tiene 13 instancias y en la segunda época con 163, esto para entrenar el modelo de forma más eficiente. Una época implica pasar por todos los lotes de datos de entrenamiento. Típicamente se entrenan los modelos durante múltiples épocas, de 10 a 100 o más dependiendo de la complejidad del problema. Con más épocas el modelo sigue optimizándose, sin embargo, un número excesivo de épocas puede llevar al sobre entrenamiento. Por ello se monitorea la pérdida en los datos de validación para encontrar un equilibrio óptimo en las épocas de entrenamiento.

Después de lograr pasar el entrenamiento con todas sus 100 épocas en 1.7h de iteraciones, logramos sacar las métricas del resumen que nos dio el proceso:

Al observar las métricas donde el eje (x) son las épocas y el eje (y) es la amplitud de detección, nos damos cuenta que las gráficas nos arrojan que el modelo mejora en cada época de entrenamiento en la precisión y el recall donde el recall en las métricas de Deep Learning se refiere a la capacidad del modelo para detectar muestras positivas. En otras palabras, el recall mide la capacidad del modelo para identificar correctamente los casos positivos en comparación con todos los casos positivos presentes en los datos. Un recall alto significa que el modelo puede detectar correctamente la mayoría de las muestras positivas. Por otro lado, la precisión mide la capacidad del modelo para identificar correctamente los casos positivos en comparación con todos los casos identificados como positivos por el modelo. Un alto valor de precisión significa que el modelo identifica correctamente la mayoría de los casos positivos (Google ML, 2022).

Y notamos en los campos de pérdida como (box loss, cls loss y dfl loss) hay un salto brusco al final el cual nos indica que aproximadamente 80 épocas de entrenamiento son suficientes para que el modelo logre la detección de las botellas de plástico. Después de estas métricas pasamos a realizar una inferencia en las mismas tres imágenes de las fotos dentro de la MAC para ver si logra detectar las botellas de plástico.

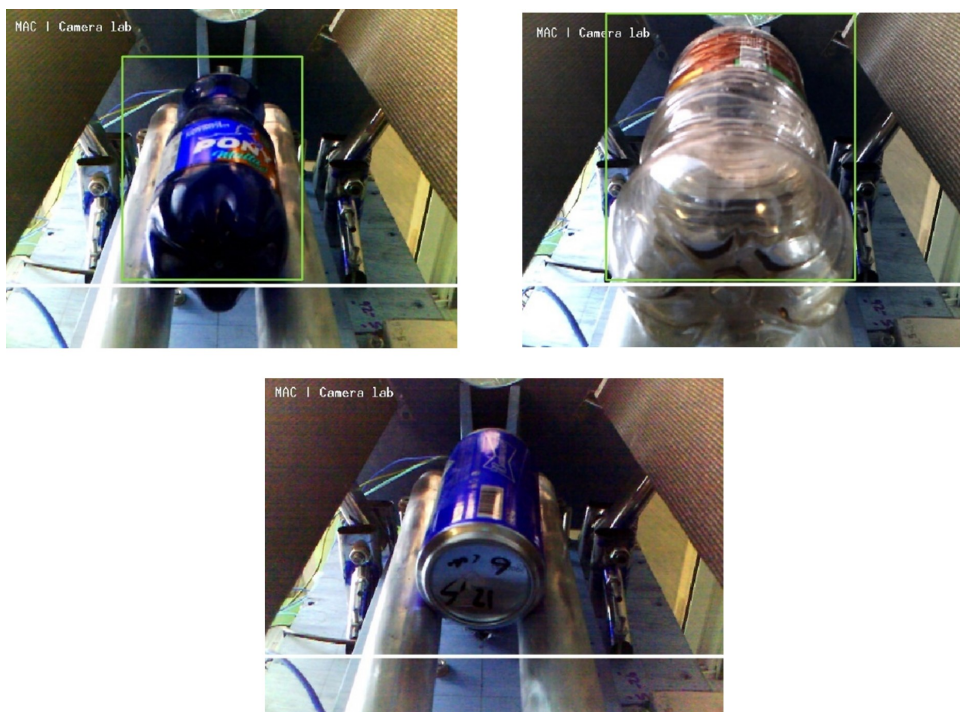


Figure 15: Modelo YOLO MAC API Pruebas de Inferencia

Como podemos observar después de realizar una inferencia con cada imagen dentro de la MAC que la línea blanca que esta trazada en la parte inferior de la foto corta la cada delimitadora. Esto sucede

porque el modelo detecta la figura de la botella usando sus herramientas de colorimetrías y bordes, para detectar la segmentación del objeto hasta que la línea trazada corta la forma de la figura del objeto, esto nos muestra que el modelo si hace una buena inferencia en el objeto y crea el cuadro delimitador gracias a su alta preciso mientras que la botella de lata no la detecta como una botella de plástico.

Toma de acción para la siguiente línea de tiempo: Gracias a estos resultados, logramos crear satisfactoriamente el modelo YOLO-MAC con su primer entrenamiento de detección, ahora pasaremos a la creación de la infraestructura web con servidores en la nube para correr mediante una API el modelo YOLO-MAC y así conectar nuestra placa ESP-32 con la cámara JeVois A33 y consumir la API con las imágenes que la cámara nos transmite por el puerto URT.

(28/07/2023 9:00 am): La computación en la nube (Cloud Computing) permite desplegar aplicaciones y servicios en centros de datos remotos a los que se accede vía internet. Esto provee escalabilidad y eficiencia, sin necesidad de mantener infraestructura propia, esto se convierte en una forma viable y escalable ya que debemos mantener en ejecución nuestro modelo YOLO-MAC en la API que mantendrá en escucha para las peticiones de nuestra interfaz local de la MAC para las predicciones y todo bajo autenticación.

Dentro de la nube, los contenedores (containers) como Docker permiten empaquetar una aplicación con todas sus dependencias y sistema operativo para que se permita de forma rápida el despliegue de toda la estructura de código y confiabilidad de entorno virtual.

Azure es la plataforma cloud de Microsoft, que ofrece servicios de computación, almacenamiento, bases de datos y más. Permite implementar contenedores Docker para crear aplicaciones en la nube ágilmente. En nuestro caso, se utilizará Azure para alojar una API desarrollada en Python que expone los servicios de nuestro modelo de DL entrenado. Esta API será containerizada usando Docker para facilitar su despliegue en Azure como microservicio escalable.

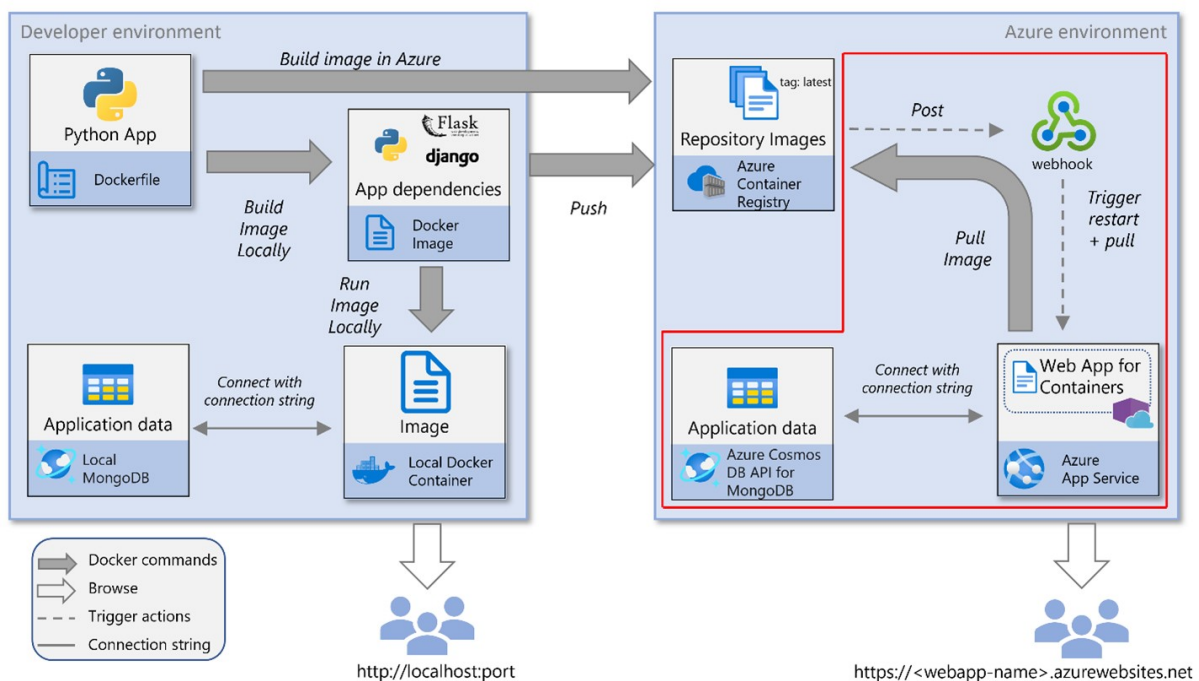


Figure 16: Modelo DevOps API Infraestructura

Con el diagrama de despliegue vemos en la izquierda el entorno de desarrollo donde tendremos toda nuestra aplicación, en nuestro caso no usaremos bases de datos ya que el endpoint de nuestro modelo YOLO-MAC será solo de petición y predicción. Ya que tenemos nuestra aplicación lista, se procede a containerizar creando (Build) la imagen desde el Dockerfile de la carpeta raíz en el proyecto de Flask.

Después de tener nuestra imagen de Docker, pasamos a subir (Push) la imagen mediante un servicio de Docker llamado Docker Hub donde tendremos nuestro repositorio para alojar la imagen y así crear

el flujo de trigger (Disparador) para que el App Service de Azure descargue (Pull) la imagen y corra el servidor en la nube automáticamente.

Los beneficios de esta aproximación incluyen: Rápida iteración durante desarrollo, confiabilidad de la aplicación, escalamiento bajo demanda, alta disponibilidad, y no requerir mantener infraestructura propia on-premise. Azure y Docker nos permiten llevar nuestra API a producción de forma ágil y escalable en la nube (Kinsta, 2023).

Ya que se definen las herramientas base para el despliegue de nuestra API hecha en Flask un framework de Python para aplicación web desde el lado backend (Servidor) basado en su interfaz potenciadora de comunicación WSGI con librerías livianas que permiten mayor velocidad de procesamiento en las peticiones a los endpoints (Rutas).

Url Azure	Endpoint
https://api-mac-ai.azurewebsites.net	/yolo-mac-predict

--http POST

curl --location 'https://api-mac-ai.azurewebsites.net/yolo-mac-predict'

--header 'Authorization: Bearer token'

--form 'image-pred=@" /path/to/file"'

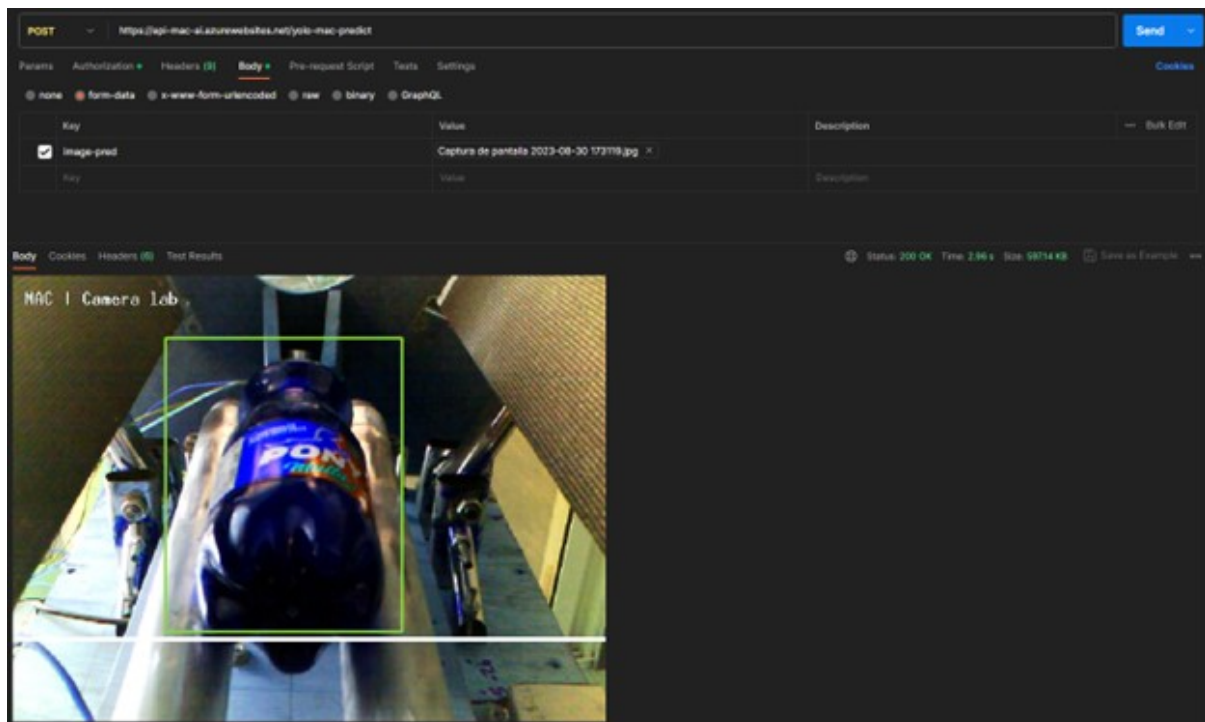


Figure 17: API Inferencia por Postman

Observando el resultado de la petición a el endpoint de /yolo-mac-predict que el modelo realizo la inferencia satisfactoriamente devolviéndonos la imagen y su JSON de resultado de predicción en el status 200 OK.

Toma de acción para la siguiente línea de tiempo: Después de haber creado la infraestructura base de peticiones al modelo YOLO-MAC mediante una API desde la nube, para el siguiente paso iniciaremos con la estructura electrónica y de programación de la MAC usando una RaspberryPi 3 con la cámara JeVois A33 y la ESP32 para crear el streaming de los fotogramas que nos da la cámara y realizar peticiones HTTP con una librería en Python y el servidor local de la MAC conectado a la placa controladora de sensores y motores en C++ de Arduino.

9.3.1 Fin etapa 3 (Agosto 2023):

Después de trabajar en el proceso de conexiones lógicas con la comunicación UART de los microcontroladores de la ESP32, JeVois A33 y la RaspberryPi, se logró la comunicación exitosa entre los componentes con una alta velocidad de procesamiento y manejo de los datos transmitidos por el canal UART usando el formato USB (Universal Serial Bus).

Iniciando la estructura de todo el circuito lógico de los componentes, partimos desde la RaspberryPi la cual funciona como servidor local gracias a sus especificaciones técnicas como mini computador para instalar un sistema operativo Linux donde configuraremos una interfaz de desarrollo virtual para que ejecute el lenguaje de programación Python y las dependencias como OpenCV que nos permite la captura de los fotogramas desde la cámara JeVois A33 que está conectada por el puerto USB visto en el siguiente diagrama básico.

El diagrama completo se encuentra en la ilustración del apartado de diagramas Figure 28. Diagrama Caso de Uso.

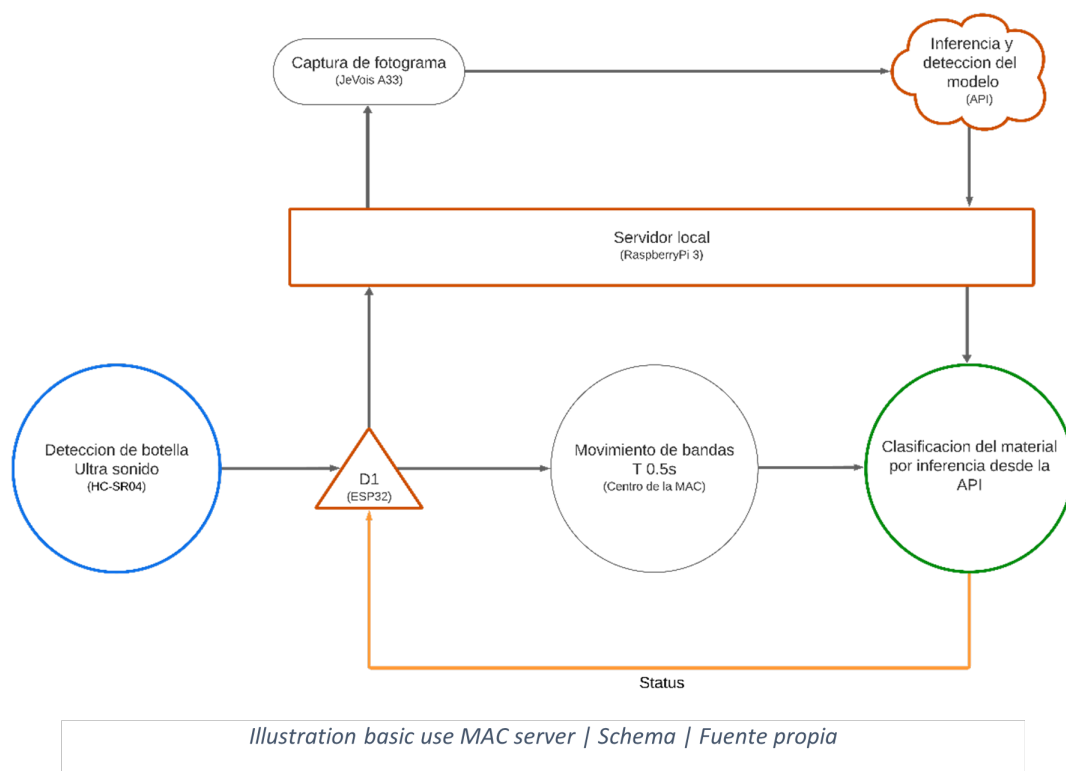


Figure 18: Diagrama de uso Básico

Gracias que tenemos la cámara conectada a este canal de comunicación, la RaspberryPi nos permite usarla por el puerto /dev/ttyUSB0 el cual podremos escuchar para que cumpla un contrato de condición dentro del código escrito en C++ de Arduino booteado en la ESP32 representado por el triángulo D1 en el diagrama de uso el cual disparará dos acciones cuando el sensor Ultrasonido (HC-SR04) detecte que fue ingresada una botella por el orificio de alimentación de la MAC, el primer disparador es a nivel de pines GPIO hacia los motores de las bandas que están conectados a el puente-h controlador (L298N) donde haría girar las bandas 0.5s para lograr posicionar la botella en el medio de la MAC para mejorar la fiabilidad de la captura del fotograma y otro que enviara un dato de medida booleano por el puerto

serial del USB a la RaspberryPi para que la cámara JeVois A33 haga una captura del fotograma que será procesado y enviado por petición a la API de la nube con el modelo.

Mediante la librería de requests en Python se hace la petición a el servidor de la nube con la captura del fotograma para hacer inferencia y así lograr detectar que tipo de botella fue introducida en la MAC, después que se logra realizar la inferencia y detección de la botella se procede a clasificarla en su respectivo contenedor accionando de nuevo las bandas hacia el frente denominado forward y si no se logra detectar que el material ingresado sea una botella se accionan las bandas hacia atrás denominado backward para devolver el material a el usuario rechazando la inserción de materiales no debidos.

Puntos clave:

- Limitaciones con sensores capacitivos e inductivos: incapacidad para categorizar materiales visualmente similares con precisión.
- Necesidad de un enfoque más avanzado y robusto para la identificación de materiales reciclables.
- La visión artificial a través del procesamiento de imágenes y video se presenta como una alternativa prometedora.
- Las técnicas modernas de Deep Learning permiten la detección y clasificación precisa de objetos.
- La incorporación de una cámara y algoritmos de visión computacional para superar las limitaciones de los sensores electro-conductivos.
- El objetivo es categorizar materiales de manera confiable, incluyendo diferentes tipos de plásticos.
- Próximos pasos: Investigar modelos de Deep Learning, recopilar datos de entrenamiento en forma de imágenes etiquetadas y comenzar las pruebas para entrenar y validar un clasificador visual óptimo para la aplicación.
- Selección del modelo YOLOv8 para el entrenamiento y detección de objetos debido a su alto rendimiento y precisión.
- Creación de una infraestructura web con servidore en la nube para ejecutar el modelo YOLO-MAC y conectarlo a una placa ESP-32 con cámara JeVois A33.
- Creación de la infraestructura y diagrama del servidor local en la MAC usando microcontroladores como RaspberryPi, ESP32 y JeVois A33.

10 Especificaciones Técnicas

Table 3: ESP32 Technical Specifications

Características	ESP32
Microprocesador	Xtensa Dual-Core 32-bit LX6 con 600 DMIPS
Wi-Fi (802.11 b/g/n)	HT40
Bluetooth	Bluetooth 4.2 y BLE
Frecuencia de operación (valor típico)	160 MHz
SRAM	448 KB
Flash	520 KB
GPIO	34
PWM (hardware)	No posee
PWM (software)	16 canales
SPI	4
I2C	2
I2S	2
UART	2
ADC	12-bits de resolución
CAN	Sí
Interfaz MAC Ethernet	Sí
Sensor de tacto	Sí
Sensor de temperatura	Sí (solo las versiones antiguas)
Sensor de efecto hall	Sí
Temperatura de trabajo	-40°C to 125°C

Table 4: Raspberry Pi Specifications

Feature	Type
CPU	1.2 GHz 64-bit quad-core ARM Cortex-A53
Memory (SDRAM)	1 GB (shared with GPU)
USB 2.0 Ports	4 (with the on-board 5-port USB hub)
Video input	15-pin MIPI camera interface (CSI) connector, used with the Raspberry Pi camera or Raspberry Pi NoIR camera
Video outputs	HDMI (rev 1.3), composite video (3.5 mm TRRS jack)
On-board storage	Micro SDHC slot
On-board network	10/100 Mbit/s Ethernet, 802.11n Wireless, Bluetooth 4.1
Power source	5 V with Micro USB or GPIO header

10.1 Primera etapa (Junio 2022 / Agosto 2022)

Table 5: Sensores y Placas utilizados en la primera etapa

Sensores			Placas		
Sensor	Referencia	URL	Placa	URL	Cantidad
Prox. capacitivo	LJC18A3-B-Z/BX NPN	Ir	ESP32 WiFi/Bluetooth	Ir	1
Peso	HX711	Ir			
Touchpad	VIS200	Ir			

10.2 Segunda etapa (Enero 2023 / Junio 2023)

Table 6: Sensores utilizados en la segunda etapa

Sensor	Referencia	URL	Cantidad
Prox. capacitivo	LJC18A3-B-Z/BX NPN	Ir	1
Nivel agua distancia	XKC-Y25-T12V	Ir	1
Capacitivo	CR30-15DP	Ir	1
Inductivo	PR30-15DP	Ir	1
Ultrasonido	HC-SR04	Ir	1

Table 7: Motores utilizados en la segunda etapa

Motor	Referencia	URL	Movimiento	Cantidad
Servomotor metálico	MG995	Ir	270°	4
Motor DC	33GB-520	Ir	350 RPM 2Kg/cm	3

Table 8: Placas utilizadas en la segunda etapa

Placa	Referencia	URL	Código	Cantidad
ESP32 WiFi/Bluetooth	*	Docs	C++	1
Controlador de motores	L298N	Ir	C++	2
Anillo led	WS2812B	Ir	C++	1

10.3 Tercera etapa (Julio 2023 / Agosto 2023)

Table 9: Sensores utilizados en la tercera etapa

Sensor	Referencia	URL	Cantidad
Cámara JeVois	A33	Ir	1
Nivel agua distancia	XKC-Y25-T12V	Ir	1
Ultrasonido	HC-SR04	Ir	1

Table 10: Motores utilizados en la tercera etapa

Motor	Referencia	URL	Movimiento	Cantidad
Motor DC	33GB-520	Ir	350 RPM 2Kg/cm	3
Servomotor metálico	MG995	Ir	270°	1

Table 11: Placas utilizadas en la tercera etapa

Placa	Referencia	URL	Código	Cantidad
ESP32 WiFi/Bluetooth	*	Docs	C++	1
Controlador de motores	L298N	Ir	C++	2
Anillo led	WS2812B	Ir	C++	1

10.4 Camera JeVois A33

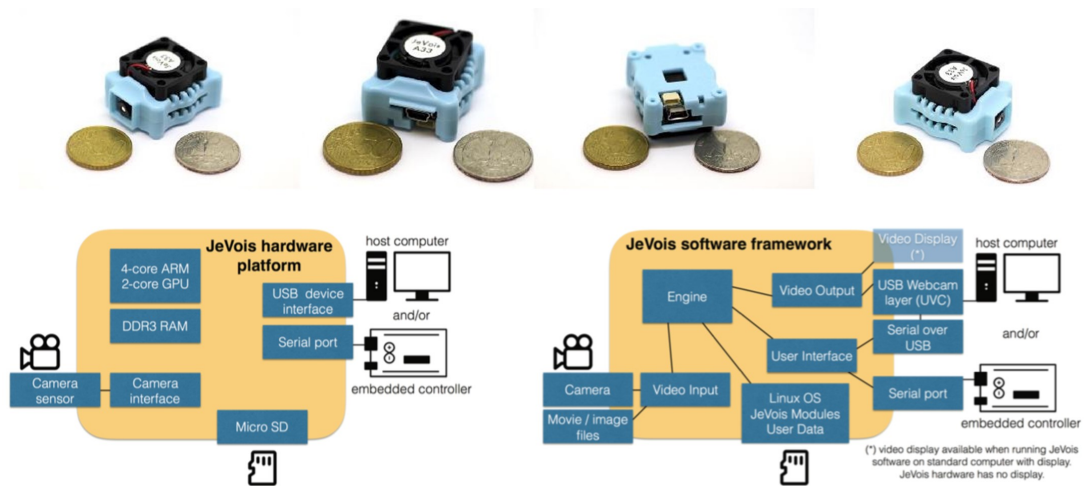


Figure 19: JeVois A33

10.5 HC-SR04

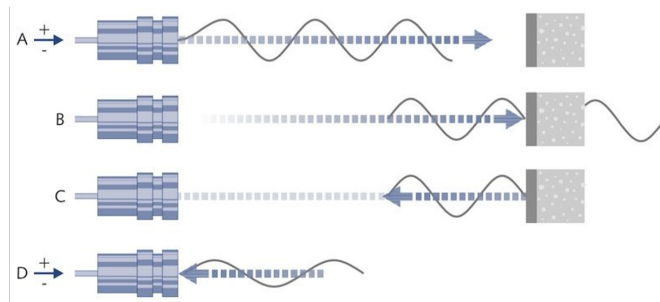
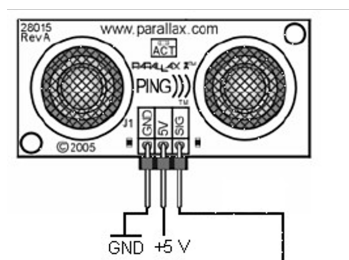


Figure 20: HC-SR04

10.6 XKC-Y25-T12V

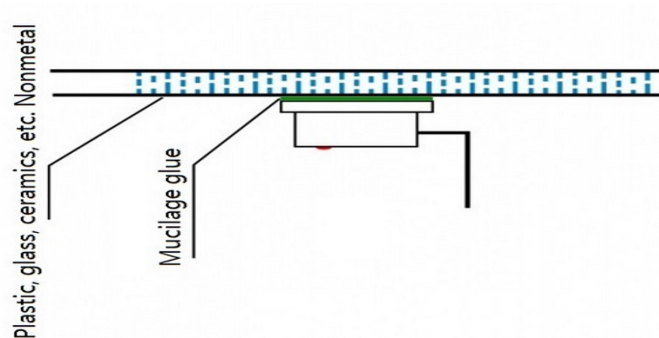


Figure 21: XKC-Y25-T12V

10.7 MG995



Figure 22: MG995

10.8 33GB-520

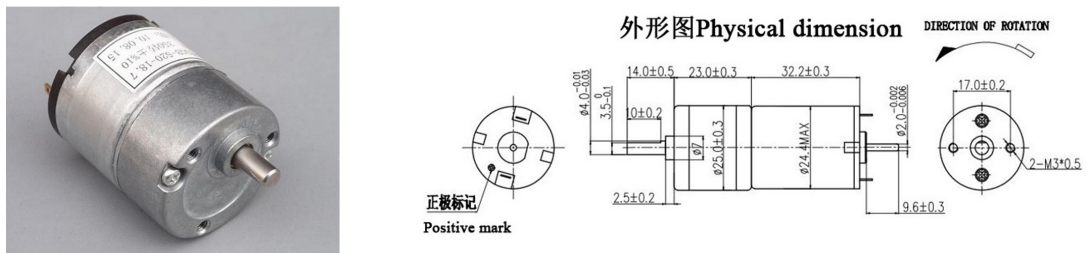


Figure 23: 33GB-520

10.9 L298N

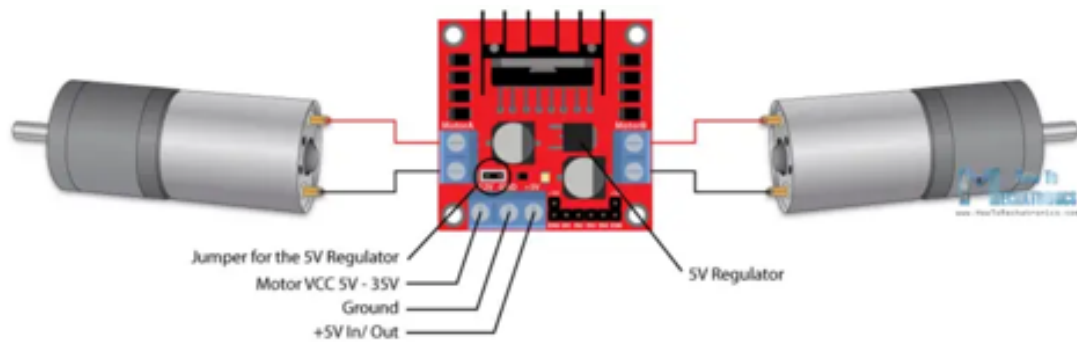


Figure 24: L298N

10.10 WS2812B



Figure 25: WS2812B

10.11 ESP32 Pins

ESP32-DevKitC

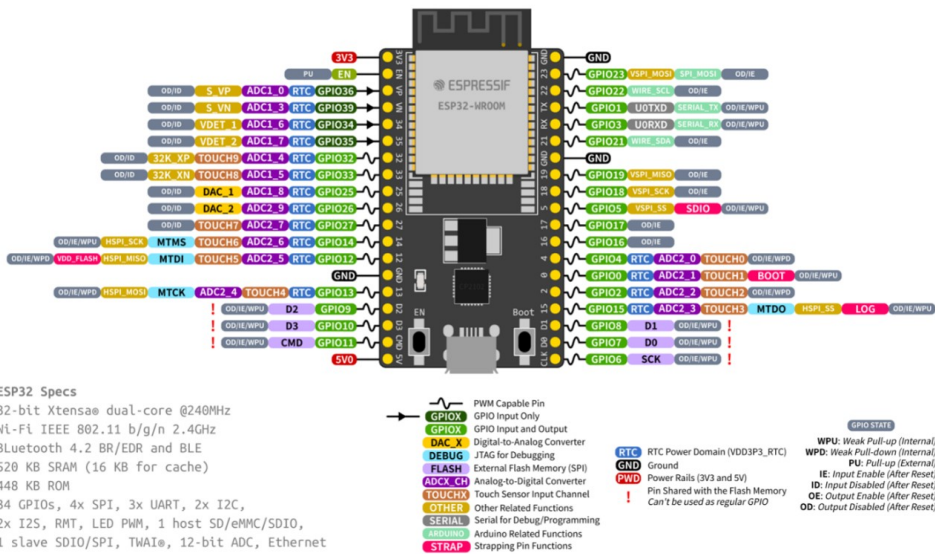


Figure 26: ESP32 Pins

10.12 Raspberry Pi 3 Pins

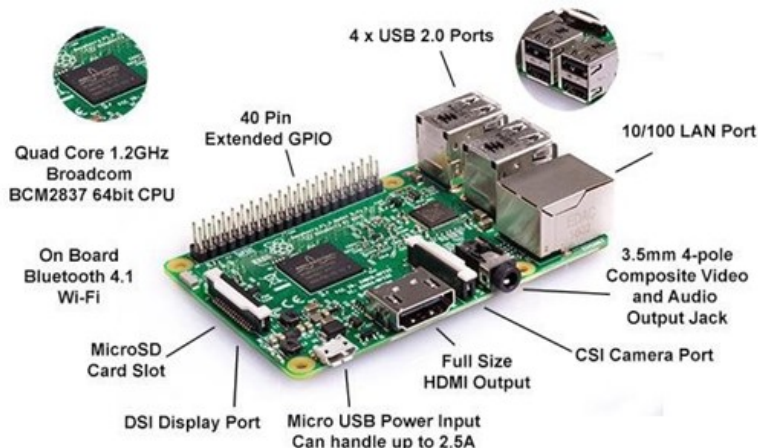


Figure 27: Raspberry Pi 3 Pins

11 Diagrama de Uso

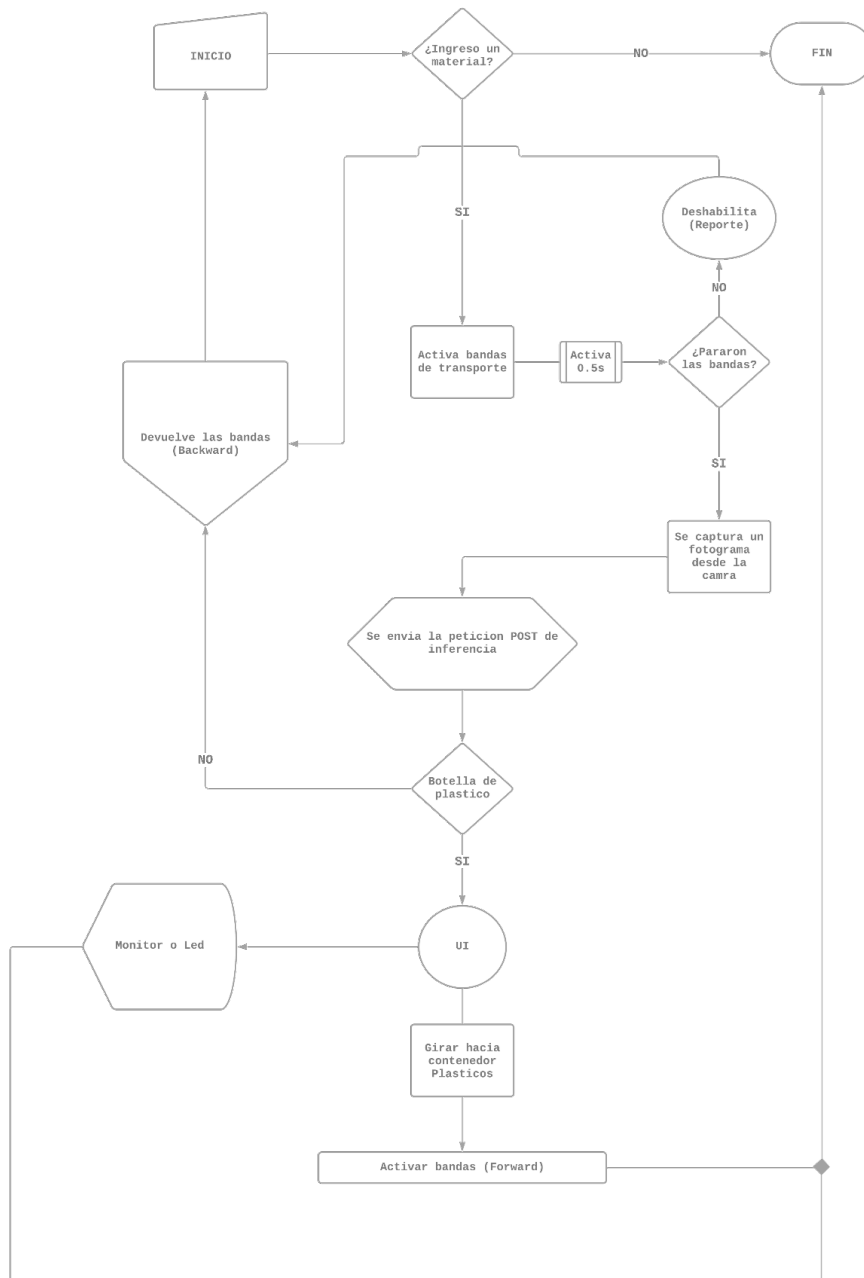


Figure 28: Diagrama Caso de Uso

12 Bases Teróricas

Teorías relevantes: programación neurolingüística, patrones de comportamiento, aprendizaje de conductas.

Diversas teorías conductuales y psicológicas enfatizan la importancia de modificar los hábitos mentales y patrones de comportamiento arraigados en las personas, para promover conductas más responsables con el medioambiente como el reciclaje efectivo. La teoría de la programación neurolingüística desarrollada por Bandler y Grinder en la década de 1970 se centra en cómo los comportamientos humanos se modelan a partir de las conexiones que se forman en el cerebro y el procesamiento de experiencias (Bandler y Grinder, 1975).

Los autores sostienen que gran parte de la conducta se basa en patrones mentales automáticos que se pueden reestructurar instaurando nuevas conexiones neuronales y reforzando perceptual y experimentalmente ciertos comportamientos deseados de forma continua (Grinder y Bandler, 1981).

Otras teorías relevantes son las cognitivas sobre el aprendizaje. Según Ramos et al. (2022), la falta de consciencia sobre el impacto ambiental negativo del inadecuado reciclaje hace que las personas no se motiven a clasificar correctamente los residuos. Por ello, es clave reforzar cogniciones sobre la importancia de esta conducta responsable.

Asimismo, Smith (2020) señala que la pereza mental lleva a que las personas no dediquen el tiempo a separar adecuadamente sus desechos, a pesar de conocer sus consecuencias dañinas. Priorizan la comodidad y rapidez por sobre el reciclaje efectivo.

Desde las teorías del aprendizaje social como las de Bandura (1991), el modelamiento y observación de conductas en el entorno también juegan un papel muy relevante. Las personas tienden a replicar acciones responsables de reciclaje cuando las ven en otros, especialmente referentes.

El enfoque conductista de Skinner (1938) también sustenta estrategias de reforzamiento positivo y negativo para fomentar o desincentivar ciertas conductas. En este caso, se podrían emplear recompensas por reciclar bien y castigos por no hacerlo.

Todos estos conceptos teóricos multidisciplinares enfatizan la posibilidad y necesidad de transformar los esquemas mentales y conductuales de las personas en relación al reciclaje. Las soluciones tecnológicas planteadas en este proyecto buscan precisamente apoyar dicha reestructuración de hábitos y patrones arraigados, facilitando y reforzando una conducta adecuada de separación de residuos.

13 Enfoques Conceptuales

Palabras clave: Reciclaje, cultura ambiental, cambio de hábitos, soluciones tecnológicas innovadoras.

El reciclaje efectivo comienza con una adecuada separación de residuos desde el origen. Pero diversos estudios revelan problemas de conducta y cultura ambiental que influyen en los bajos niveles de reciclaje (Smith, 2020; Ramos et al, 2022).

Es clave entender el cambio de hábitos, que según la programación neurolingüística implica reestructurar conexiones neuronales y reforzar experiencias para modificar comportamientos arraigados (Bandler y Grinder, 1975). Las soluciones tecnológicas pueden facilitar este proceso de transformación de patrones automatizados.

Asimismo, el fortalecimiento de la cultura ambiental está estrechamente relacionado, en términos de valores, creencias, normas y conductas frente al reciclaje. Se debe motivar dicho cambio cultural (Ramos et al, 2022).

El uso de códigos de colores de la máquina clasificadora de residuos propuesta permitiría un aprendizaje implícito sobre cómo separar correctamente los desechos.

Otros conceptos centrales son las conductas proambientales, es decir, acciones responsables con el medio ambiente como el reciclaje adecuado (López y Fernández, 2019). También los residuos sólidos, que en este caso se enfocan en plásticos y metales reciclables.

A nivel tecnológico, los sensores para identificación de materiales resultan clave, ya que permiten detectar las características de los residuos. Asimismo, un sistema automatizado integrado mediante algoritmos de control, puede coordinar los procesos de clasificación y separación de forma efectiva.

En síntesis, esta solución tecnológica busca facilitar y reforzar conductas ambientalmente responsables, promoviendo cambios en hábitos y culturales profundamente arraigados, mediante el modelamiento y aprendizaje implícito que permitirá la máquina clasificadora.

14 Marco Contextual

Según el informe "Gestión de residuos y economía circular" del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2022), la mayoría de países de América Latina y el Caribe carecen de sistemas integrales para una gestión eficiente de residuos sólidos. Menos del 10 por-ciento de los desechos reciben un manejo y disposición adecuada. Esto se debe a limitaciones financieras, institucionales y de políticas públicas (BID, 2022).

En contraste, en países desarrollados como Alemania y Japón, "más del 70 por-ciento de los residuos sólidos se reciclan o incineran para generar energía gracias a leyes integrales de responsabilidad extendida al productor" (Peralta, 2022). Sus altos estándares se deben a décadas de inversiones en infraestructura, educación ambiental y compromiso ciudadano (Peralta, 2022).

Específicamente, en el caso del PET, documentos como "Reciclado de PET a partir de botellas post consumo" (Paz, 2022) y "Situación del reciclaje de plásticos en Colombia" (Belalcázar, 2020) coinciden en que Latinoamérica adolece de sistemas efectivos de recolección selectiva y carece de cultura de separación de residuos domiciliarios.

Esta situación conduce a que la mayor parte de botellas y envases PET post-consumo terminen en rellenos sanitarios o vertederos ilegales, con sus consecuentes impactos ambientales (Paz, 2022; Belalcázar, 2020). Las tasas de reciclaje en la región no superan el 30 por-ciento según datos de Paz (2022).

En conclusión, urge diseñar políticas integrales e invertir en infraestructura y educación en los países en vías de desarrollo para transitar hacia un modelo sostenible de economía circular, donde residuos valiosos como el PET sean reincorporados a las cadenas productivas.

15 Marco Legal

América Latina y el Caribe genera alrededor de 145.000 toneladas de residuos sólidos por día, de los cuales entre el 50 por-ciento al 80 por-ciento son residuos orgánicos (BID, 2018). La región enfrenta grandes desafíos para la gestión integral de sus basuras. Entre los principales problemas están las bajas tasas de recolección de residuos, que en promedio alcanzan al 90 por-ciento en áreas urbanas, pero sólo el 51 por-ciento en zonas rurales. Además, las tasas de reciclaje son limitadas, alcanzando un 19 por-ciento de los residuos generados. La mayor parte termina en vertederos a cielo abierto que generan impactos ambientales como contaminación atmosférica por quema de basuras y contaminación de suelos y aguas por lixiviados (PNUS, 2018). Ante esta problemática, en las últimas décadas los gobiernos de la región han incrementado los esfuerzos para mejorar la gestión integral de los residuos sólidos. Se han promulgado reformas regulatorias y programas nacionales y locales enfocados en reducir la generación de residuos, maximizar la reutilización y el reciclaje, implementar diversas formas de tratamiento como compostaje, biometanización, incineración, y disposición final controlada (BID, 2022).

Un eje central de las políticas de residuos son los crecientes volúmenes de envases y empaques plásticos. Se estima que en América Latina se generan unos 10 millones de toneladas anuales de plásticos, de los cuales entre el 20 por-ciento y 50 por-ciento corresponde a envases y empaques de productos de consumo que tienen una vida útil muy corta (PNUMA, 2022). Estos plásticos de un solo uso representan complejos desafíos ambientales por su difícil reciclabilidad y tendencia a convertirse en residuos dispersos que llegan a ecosistemas terrestres y marinos. En respuesta, países como Colombia, Chile, Costa Rica y Perú han implementado legislación para promover la sustitución de plásticos convencionales por alternativas sostenibles, biodegradables y compostables, así como impulsar su recolección selectiva y reciclaje (OCDE, 2022). Colombia ha sido pionero en la región con regulaciones como la Resolución 668 de 2016 que fomenta uso de bolsas plásticas reutilizables y biodegradables. Más recientemente, la creación del Pacto Nacional de Plásticos apunta a una economía circular en este campo.

La gestión de residuos sólidos en Colombia se ha convertido en un tema prioritario dada la generación creciente de basuras domésticas e industriales. Existen diversas normativas que buscan regular el manejo adecuado de residuos y promover su reincorporación en ciclos productivos. Se estima que en Colombia se generan alrededor de 700.500 toneladas métricas de envases plásticos al año, pero sólo se recicla el 3

por-ciento (Schwertheim, 2023). Ante este panorama, el gobierno nacional ha impulsado regulaciones y alianzas estratégicas para promover un modelo de economía circular en la gestión de los residuos plásticos.

Economía circular en Colombia:

- Ley 1259 de 2008 (Congreso de Colombia, 2008). Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones. Busca sancionar comportamientos que afectan el medio ambiente como arrojar basura en espacio público.
- Ley 1672 de 2013 (Congreso de Colombia, 2013). Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), y se dictan otras disposiciones. Busca regular la disposición y reciclaje de residuos electrónicos.
- Resolución 1407 de 2018 (Min Ambiente, 2018). Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques de papel, cartón, plástico, vidrio, metal y se prenden otras disposiciones. Obliga a productores a implementar planes de gestión de residuos de envases.
- Resolución 668 de 2016 (Min Ambiente, 2016). Por la cual se reglamenta el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. Regula el uso de bolsas plásticas y promueve reducir su consumo.
- El Congreso de Colombia aprobó un proyecto de ley que prohíbe la fabricación, importación, comercialización y distribución de plásticos de un solo uso (Leyes de plásticos y envases en Colombia, 2021).

16 Discusión

Al finalizar los objetivos que teníamos estipulados a medida del tiempo, optamos por hacer un cambio de enfoque drástico, haciendo un salto de diseño de todo el prototipo y la elección de quitar módulos y sensores del diseño mecánico, hacia la implementación de una cámara con inteligencia artificial por visión. Estos cambios físicos se hicieron para mejorar la escalabilidad de los nuevos diseños en cuanto a mejoras de mecanismos y materiales. El uso de la visión artificial mediante una cámara nos permitió avanzar hacia un sistema más compacto, eficiente y escalable, al eliminar varios componentes mecánicos y electrónicos que resultaban poco prácticos. Al enfocarnos en el procesamiento de imágenes y algoritmos de aprendizaje automático en lugar de módulos físicos, logramos optimizar el prototipo para las siguientes iteraciones, buscando constantemente la innovación en los métodos de clasificación.

La siguiente mejora que implementaremos estará enfocada en reducir significativamente las dimensiones y peso del modelo YOLO-MAC, para que no tenga que realizar inferencia en un servidor remoto conectado a la World Wide Web a través de los servidores en la nube de Azure, en lugar de eso, optimizaremos el modelo para que pueda hacer inferencia de manera local en el propio dispositivo, sin depender de una conexión a internet constante. Para lograrlo, migraremos YOLO-MAC a un framework de machine learning más ligero como TensorFlow Lite, que está específicamente diseñado para correr modelos de aprendizaje automático en dispositivos con recursos limitados al convertir el modelo a TensorFlow Lite podremos reducir significativamente su tamaño, de cientos de MB a algunos pocos MB, haciéndolo compatible con tecnologías de procesamiento más livianas. Esto nos permitirá implementar la inferencia de imágenes directamente en dispositivos como teléfonos inteligentes, Raspberry Pi y microcontroladores. De esta manera, ya no será necesario tener una conexión constante a un servidor en la nube para que el modelo clasifique los residuos, sino que todo el procesamiento se podrá realizar localmente en el dispositivo. Esto reducirá la latencia, mejorará la velocidad de inferencia y hará el sistema más portable, escalable y de bajo costo. Al migrar YOLO-MAC a TensorFlow Lite y optimizarlo para inferencia en el edge, tendremos un modelo de detección y clasificación de residuos sólidos mucho más rápido, eficiente y desplegable en distintos tipos de hardware y aplicaciones. Esto representará un avance significativo en el camino hacia un prototipo comercializable de clasificador inteligente de residuos.

Las bandas son una parte fundamental del diseño estructural para que el mecanismo de transporte funcione óptimamente y esta se adhiera a los rodillos de nailon, la fricción del material en las bandas del prototipo es bajo debido a que el tapete multiusos está compuesto por caucho granulado y esta inyectado sobre una malla de tela para que la composición este sólida. El problema está en que uno de los lados no tiene textura y el otro si, la parte de textura está en el lado superior donde se ponen las botellas y la del lado interno es donde hace contacto con los rodillos de nailon, eso hace que la fricción sea baja y haga que los rodillos desubiquen las bandas del punto central o que los rodillos giren y no generen movimiento de transporte. El enfoque modular de la MAC permite adaptarla a diversos entornos y necesidades a través de su implementación en estructuras cúbicas. Este diseño busca crear un prototipo versátil y escalable de tecnología centrada en el usuario más allá de sus capacidades funcionales de clasificación y procesamiento de residuos, la MAC dentro de una estructura tiene el potencial de impulsar un cambio cultural al hacer que el reciclaje sea una actividad intuitiva e interactiva para las personas que usaran una máquina, como por ejemplo una maquina dispensadora. La interfaz de usuario con activadores/disparadores y luces LED guiaran al usuario de forma amigable en el proceso de separación de desechos.

Esta aproximación lúdica al reciclaje por medio de la maquina puede ayudar a que las buenas prácticas ambientales se adopten de forma orgánica, las interacciones cotidianas con la interfaz generan micro momentos de aprendizaje que, con el tiempo, cristalizan en hábitos sostenibles, en ese sentido, el prototipo de MAC representa no solo una innovación tecnológica adaptada en la sostenibilidad y apoyo hacia el medio ambiente desde el reciclaje, sino también el inicio de un cambio cultural donde la tecnología se pone al servicio del usuario para educar e inspirar un estilo de vida eco-amigable. A través de un diseño centrado en humanos, la MAC tiene el potencial de volver el reciclaje una actividad intuitiva, interactiva y gratificante implementada como una máquina.

17 Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2022). *Gestión de residuos y economía circular en América Latina y el Caribe*. Retrieved from <https://publications.iadb.org/es/gestion-d-e-residuos-y-economia-circular-en-america-latina-y-el-caribe>
- Belalcázar, N.D. (2020). *Situación del reciclaje de plásticos en Colombia*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Retrieved from <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/22135>
- Bandler, R., & Grinder, J. (1975). *The structure of magic*. Palo Alto, CA: Science and Behavior Books. Retrieved March 13, 2023, from https://es.wikipedia.org/wiki/Programaci%C3%B3n_neuroling%C3%BC%ADstica
- Cristian Fabian Diaz Colorado, Jorge Armando Caldas Vega (2018). *Sistema de control automático para el reconocimiento de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico*. Retrieved January 4, 2022, from <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/648ff4e5-30ba-44b6-ad2a-a4ab78f9ff55/content>
- Códigos de color en Colombia para reciclar (2021). Retrieved January 20, 2022, from <https://www.pactoglobal-colombia.org/news/estos-son-los-codigos-de-colores-para-reciclar-a-partir-del-1-de-enero-de-2021.html>
- EUROPEAN COMMISSION 2012. *Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the council of 4 July 2012 on Waste Electrical and electronic equipment (WEEE)*. 197/38 EN. Retrieved from eur-lex.europa.eu
- From Wikipedia, the free encyclopedia. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence
- KRÜGER, J., LIEN, T. K. & VERL, A. 2009. *Cooperation of human and machines in assembly lines*. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 58, 628-646.
- Ley CMS (2022). *Leyes de plásticos y empaques en Colombia*. Retrieved from <https://cms.law/en/int/expert-guides/plastics-and-packaging-laws/colombia>
- Leyes de plásticos y envases en Colombia. (2021). *Guía de expertos de CMS*. Retrieved October 25, 2023, from <https://cms.law/en/int/expert-guides/plastics-and-packaging-laws/colombia>
- López, G., & Rodríguez, A. (2021). *Infraestructura para el reciclaje en Colombia*. Universidad Tecnológica de Pereira.
- LONGMAN 1995. *Dictionary of contemporary English*. In: GADSEBY, A. (ed.) 1995 ed.
- Ministerio de Ambiente. (2020). *Informe de gestión integral de residuos*. Retrieved from <https://www.minambiente.gov.co>
- Natalie Schwerthim (2023). *Colombia launches national plastics pact targeting 50% recycling rate*. Retrieved from <https://www.packaginginsights.com/news/colombia-launches-national-plastics-pact-targeting-50-recycling-rate.html>
- NOF, S. Y. 2009. *Automation: What It Means to Us Around the World Springer Handbook of Automation*. In: NOF, S. Y. (ed.). Springer Berlin Heidelberg
- Paulette Delgado (2021). *Programación neurolingüística en el aprendizaje y la educación*. Retrieved March 13, 2023, from <https://observatorio.tec.mx/edu-news/programacion-neurolinguistica-aprendizaje/>
- Paz, M. (2022). *Reciclado de PET a partir de botellas post consumo*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Patente china CN112320151A. Retrieved January 20, 2022 from http://www.ipfeibiao.com/patent/appy_mao?currentPage=4&key_word=%E9%83%AD%E7%91%9E%E9%9B%AA

- Peralta, A. (2022). *¿Cómo convertir la basura en energía?* Banco Interamericano de Desarrollo. Retrieved from <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/como-convertir-la-basura-en-energia/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2018). *Perspectivas del reciclaje en América Latina*. Retrieved from <https://www.unep.org>
- Ramos, J. (2019). *Factores culturales en el reciclaje*. Revista de Sostenibilidad, 5(2), 55-61.
- Xiangkui Jiang, Haochang Hu, Yuemei Qin, Yihui Hu, y Rui Ding (2022). *A real-time rural domestic garbage detection algorithm with an improved YOLOv5s network model*. Retrieved August 5, 2023, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9540284/>
- Ultralytics models YOLOv3-8 (2023). Retrieved August 17, 2023, from <https://docs.ultralytics.com/models/>
- Google ML. *Precision y Recall en el Machine Learning 2022*. Retrieved August 20, 2023, from <https://developers.google.com/machine-learning/crash-course/classification/precision-and-recall?hl=es-419>
- Azure App Service Microsoft. *Deploy service by Docker and Python framework*, 2023. Retrieved August 22, 2023, from <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/developer/python/tutorial-containerize-deploy-python-web-app-azure-04?tabs=azure-portal%2Cterminal-bash>
- Kinsta. *AWS vs Azure in cloud services*. Retrieved August 22, 2023, from <https://kinsta.com/blog/aws-vs-azure/>
- RaspberryPi 3 technical features. Retrieved August 30, 2023, from <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/raspberry-pi.html>