



# COLEGIO ESPAÑOL PADRE ARRUEPE

## DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

[BANDA CLASIFICADORA DE MATERIALES]

«EcoSort»

---

**PRESENTADO POR:**

**Cristian Hernandez**

**Gabriel Calderon**

**Elias Bautista**

**ORIENTADOR:**

Melquisedec Pérez Ramírez

San Salvador, 2/06/2025

# **COLEGIO ESPAÑOL PADRE ARRUPE**

## **DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA**



### **[BANDA CLASIFICADORA DE MATERIALES]**

**«EcoSort»**

**Estudiantes:**

**Cristian Hernandez**

**Gabriel Calderon**

**Elias Bautista**

**Grado y sección:**

Tercer año de bachillerato vocacional en electrónica, sección “A”

**Asignatura:**

Trabajo de graduación

**Docente:**

Melquisedec Pérez Ramírez

**Año:**

2025

## Agradecimientos

## Índice

**No se encontraron entradas de tabla de contenido.**

## I. Introducción

El manejo y la clasificación eficiente de residuos sólidos urbanos y comerciales representan un desafío global con profundas implicaciones ambientales y económicas. La creciente generación de desechos, sumada a la ineficacia de los métodos de separación manual, resulta en bajas tasas de reciclaje, contaminación y un desperdicio de recursos valiosos que podrían ser reintegrados a la cadena productiva. Los sistemas tradicionales de clasificación manual son intensivos en mano de obra, costosos, lentos, y exponen a los trabajadores a condiciones insalubres, además de ser propensos a errores que disminuyen la calidad de los materiales recuperados. Ante esta problemática, la aplicación de tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial (IA) y la automatización industrial ofrece soluciones prometedoras. Este proyecto, "Banda Transportadora Inteligente: Aplicación de IA para la Clasificación Automatizada de Desechos", se enfoca en el diseño y desarrollo de un sistema automatizado que utiliza visión por computador y un modelo de IA (YOLOv8) para identificar y separar diferentes tipos de residuos (metal, plástico, cartón y otros) transportados en una banda. El objetivo es mejorar significativamente la eficiencia, precisión y velocidad de la clasificación, reducir los costos operativos y el impacto ambiental asociado a la gestión de residuos, y fomentar una economía circular más efectiva.

## II. Objetivos

### **II. 1. General**

- Diseñar, construir y validar un prototipo funcional de una banda transportadora inteligente que, mediante la aplicación de un modelo de inteligencia artificial (YOLOv8) y visión por computador, clasifique y separe automáticamente en tiempo real diferentes tipos de residuos sólidos (metal, plástico, cartón y otros), con el fin de optimizar los procesos de reciclaje y reducir la dependencia de la clasificación manual.

### **II. 2. Específicos**

- Integrar un sistema de visión artificial (cámara y software de procesamiento) para capturar imágenes de los residuos en la banda transportadora.
- Implementar y entrenar un modelo de inteligencia artificial (YOLOv8) capaz de identificar y clasificar con alta precisión los tipos de residuos definidos (metal, plástico, cartón, otros) a partir de las imágenes capturadas.
- Diseñar y construir un mecanismo de actuación automatizado (ej. desviadores neumáticos o electromecánicos) que, basado en la clasificación de la IA, separe físicamente los residuos hacia sus contenedores o rampas correspondientes.
- Desarrollar un sistema de control centralizado (utilizando Raspberry Pi o similar) que gestione la banda transportadora, la cámara, el modelo de IA y los actuadores de forma coordinada.
- Crear una interfaz de usuario básica (local o web) para el monitoreo del sistema, visualización de la clasificación y estadísticas de operación.
- Evaluar el rendimiento del prototipo en términos de precisión de clasificación, velocidad de procesamiento (objetos por minuto) y fiabilidad del sistema.

### **III. Planteamiento**

#### **III. 1. Observación**

Se observa una acumulación creciente de residuos sólidos en entornos urbanos y comerciales, y una baja eficiencia en los procesos de separación y reciclaje actuales. Las plantas de tratamiento de residuos y centros de acopio dependen en gran medida de la clasificación manual, un método lento, costoso, impreciso y que presenta riesgos para la salud de los trabajadores. La contaminación cruzada de materiales reciclables disminuye su valor y dificulta su reincorporación al ciclo productivo.

#### **III. 2. Planteamiento del problema**

La problemática principal radica en la ineficiencia, alto costo y baja precisión de los procesos actuales de clasificación de residuos sólidos (metal, plástico, cartón y otros), especialmente en plantas de reciclaje o centros de acopio. Esta situación conduce a bajas tasas de recuperación de materiales valiosos, mayor volumen de desechos destinados a vertederos, contaminación ambiental y un desaprovechamiento de recursos. Se requiere una solución tecnológica que automatice y optimice la clasificación para mejorar la sostenibilidad y eficiencia de la gestión de residuos.

#### **III. 3. Hipótesis**

La implementación de una banda transportadora automatizada, equipada con un sistema de visión por computador y un modelo de inteligencia artificial (YOLOv8) para la identificación y clasificación de residuos, permitirá separar de manera eficiente, precisa y rápida diferentes tipos de materiales (metal, plástico, cartón y otros), superando las limitaciones de la clasificación manual y mejorando significativamente las tasas y la calidad del reciclaje.

#### **III. 4. Experimentación**

El proceso experimental consistirá en:

1. **Diseño y Construcción del Prototipo:** Ensamblaje de la estructura de la banda transportadora, instalación del motor, sistema de transmisión, cámara de visión, actuadores de separación (ej. "removers" o desviadores), y el sistema de control (Raspberry Pi).
2. **Configuración del Software de IA:** Instalación de librerías necesarias (OpenCV, TensorFlow/PyTorch), carga y adaptación del modelo YOLOv8 pre-entrenado o

entrenamiento con un dataset específico de imágenes de los residuos a clasificar (metal, plástico, cartón, otros).

3. **Integración de Sistemas:** Conexión y programación de la Raspberry Pi para controlar la banda, capturar imágenes de la cámara, procesarlas con el modelo YOLOv8, y activar los actuadores correspondientes según la clasificación.
4. **Pruebas de Funcionamiento:**
  - **Calibración:** Ajuste de la velocidad de la banda, posición de la cámara, iluminación y sensibilidad de los actuadores.
  - **Pruebas de Clasificación:** Se colocarán muestras de los diferentes tipos de residuos en la banda y se registrará la precisión de la clasificación por la IA y la efectividad de la separación física.
  - **Pruebas de Rendimiento:** Se medirá el tiempo de respuesta del sistema (detección-actuación) y el throughput (cantidad de objetos clasificados por unidad de tiempo).
5. **Recolección de Datos:** Se registrarán tasas de acierto, errores de clasificación (falsos positivos/negativos), tiempos de ciclo y cualquier fallo o limitación observada.
6. **Análisis y Optimización:** Se analizarán los datos para identificar áreas de mejora en el hardware, software, el modelo de IA o los parámetros del sistema. Se realizarán ajustes iterativos para optimizar el rendimiento.

## IV. Alcances y limitaciones

### **IV. 1. Alcances**

- Desarrollo de un prototipo funcional de banda transportadora con capacidad para transportar residuos de tamaño y peso moderado.
- Clasificación automatizada en tiempo real de al menos 3-4 categorías predefinidas de residuos (ej. metal, plástico PET, cartón, otros) utilizando IA (YOLOv8).
- Separación física de los residuos clasificados en diferentes recipientes o zonas de descarga mediante actuadores controlados.
- Implementación del sistema de control en una plataforma como Raspberry Pi.
- Visualización básica del funcionamiento del sistema y de las detecciones de la IA.
- Potencial de aplicación en entornos educativos, demostrativos y como base para sistemas de reciclaje a pequeña o mediana escala.

### **IV. 2. Limitaciones**

- La precisión del modelo de IA dependerá de la calidad y cantidad del dataset de entrenamiento, así como de las condiciones de iluminación y la variabilidad de los residuos (forma, color, suciedad, si están aplastados o mezclados).
- El sistema podría tener dificultades con objetos muy pequeños, transparentes, reflectantes o fuertemente solapados en la banda.
- La velocidad de la banda y la capacidad de procesamiento (throughput) estarán limitadas por la capacidad de cómputo de la Raspberry Pi y la velocidad de los actuadores.
- El prototipo estará diseñado para un flujo controlado de residuos; no manejará grandes volúmenes ni objetos excesivamente pesados o voluminosos como en una planta industrial a gran escala.
- El sistema no clasificará subtipos muy específicos de plásticos u otros materiales sin un entrenamiento de IA más exhaustivo y posiblemente sensores adicionales.
- Los costos de algunos componentes (cámara de buena calidad, actuadores robustos) pueden ser una limitación para una replicación a muy bajo costo.
- .

## V. Aplicaciones

**Plantas de Reciclaje y Centros de Acopio a Pequeña/Mediana Escala:** Como sistema primario o secundario de clasificación para mejorar la eficiencia y reducir la carga de trabajo manual.

**Instituciones Educativas (Colegios, Universidades):** Como herramienta didáctica y proyecto práctico para enseñar sobre automatización, robótica, inteligencia artificial, visión por computador y gestión ambiental.

**Empresas con Flujos Internos de Residuos:** Para la separación en origen de residuos generados en procesos productivos o áreas comunes, facilitando su posterior reciclaje.

**Proyectos Comunitarios de Reciclaje:** Para empoderar a comunidades con herramientas tecnológicas que les permitan gestionar sus residuos de manera más eficiente.

**Laboratorios de Investigación y Desarrollo:** Como plataforma para probar nuevos algoritmos de IA, sensores y mecanismos de separación para la clasificación de materiales.

**Demostraciones Tecnológicas y Ferias Científicas:** Para mostrar el potencial de la IA y la automatización en la resolución de problemas ambientales.

## VI. Explicación técnica

### VI. 1. Funcionamiento eléctrico

El sistema de la banda transportadora inteligente opera mediante la coordinación de varios subsistemas eléctricos y de control:

#### VI. 1. 1. Fase 1. Alimentación y Transporte de Residuos

**Fuente de Alimentación General:** Fuente de Alimentacion, conmutada, de 12V, 10A Provee la energía necesaria para todos los componentes del sistema (motores, Raspberry Pi, cámara, actuadores, sensores). Se pueden requerir diferentes niveles de voltaje (ej. 5V para Raspberry Pi y lógica, 12V/24V para motores y actuadores), utilizando reguladores de voltaje si es necesario.

**Motor de la Banda Transportadora:** Un motor eléctrico (DC con reductora, o motor paso a paso para mayor control) impulsa la banda.

**Sensores de Inicio/Parada (Opcional):** Pueden usarse finales de carrera o sensores de presencia para controlar el movimiento de la banda o detectar la llegada de objetos.

#### VI. 1. 2. Fase 2. Adquisición de Imagen y Detección por IA

**Módulo de Cámara:** Una cámara USB o una cámara CSI conectada a la Raspberry Pi captura imágenes o un flujo de video continuo de los objetos que se desplazan por la banda. La iluminación adecuada es crucial en esta etapa.

**Raspberry Pi (Unidad de Procesamiento):** Ejecuta el software principal. Recibe las imágenes de la cámara.

##### Procesamiento de Imagen y Ejecución del Modelo IA:

- Las imágenes son preprocesadas (redimensionamiento, normalización) si es necesario.
- El modelo YOLOv8 (ejecutado en la Raspberry Pi, posiblemente con optimizaciones como TensorRT si la plataforma lo soporta para inferencia más rápida) analiza cada imagen para detectar y clasificar los objetos (metal, plástico, cartón, otros) y obtener sus coordenadas (bounding boxes).

#### VI. 1. 4. Fase 3. Procesamiento y Toma de Decisiones

**Lógica de Control (Script en Python en Raspberry Pi):**

- El script recibe los resultados de la clasificación del modelo YOLOv8 (clase de objeto y su posición).
- Basándose en la clase detectada y la posición del objeto en la banda (que puede estimarse por la velocidad de la banda y el tiempo desde la detección), el sistema decide qué actuador debe activarse y en qué momento.
- Coordina el timing entre la detección del objeto y la activación del desviador correspondiente para asegurar que el objeto correcto sea separado.

## **VI. 1. 3. Fase 4. Actuación y Separación Física**

**Drivers de Actuadores:** La Raspberry Pi envía señales de control (a través de sus pines GPIO) a los drivers que manejan los actuadores (ej. relés para solenoides, drivers de motor para actuadores electromecánicos, o directamente si son actuadores de bajo consumo).

**Actuadores de Separación (Removedores/Desviadores):** Pueden ser:

- **Solenoides neumáticos o eléctricos:** Empujan o desvían el objeto de la banda principal hacia una rampa o contenedor lateral.
- **Brazos robóticos simples o actuadores lineales:** Mueven el objeto.
- **Compuertas desviadoras.** Cada actuador está posicionado estratégicamente a lo largo de la banda para corresponder a una categoría de residuo.

Tabla N.8: explicación del contenido de las tablas de la base de datos

## VII. Diagrama

### **VII. 1. Circuito**

### **VII. 2. Diagrama de bloques**

### **VII. 3. Elementos**

Elemento	Cantidad	Descripción
Raspberry Pi 5	1	Se define como un pequeño computador que usa un sistema operativo Linux para programar lenguajes como Scratch y Python. Logra hacer la mayoría de las tareas típicas de un computador de escritorio, desde navegar en internet hasta manipular documentos.
Módulo de Cámara (USB o CSI)	1	Para capturar imágenes de los residuos en la banda transportadora.
Estructura de Banda Transportadora	2	Chasis, rodillos y lona de la banda.
Motor para Banda (DC )	1	Para mover la banda transportadora.

Servomotores SG995	3	Mecanismos para desviar los objetos clasificados (uno por cada categoría principal menos la de "otros" que sigue al final).
Fuente de Alimentación (ej. 5V, 12V/24V)	1	Para energizar todos los componentes electrónicos y electromecánicos.
Cables, Conectores, Protoboard/PCB	varios	Para interconexiones.

## VIII. Presentación final

### VIII. 1. Medidas de chasis

- 120cm de largo
- 20cm de ancho
- 30cm de alto



## **VIII. 2. Elementos del chasis**

**Chasis/Estructura:** Materiales utilizados (perfiles de aluminio, madera, acrílico, etc.).

Diseño para soportar la banda, motor, cámara y actuadores.

**Lona de la Banda:** Material (goma, PVC, lona tejida), tipo de unión.

**Rodillos:** Rodillo motriz (conectado al motor) y rodillo tensor. Material y sistema de montaje.

**Motor y Transmisión:** Tipo de motor, forma de acoplamiento al rodillo motriz (directo, por correa, por engranajes).

**Sopores para Componentes:** Diseño de soportes para la cámara (asegurando buena visibilidad de la banda), Raspberry Pi, drivers y actuadores.

## **VIII. 3. Posicionamiento de elementos**

**Cámara:** Montada cenitalmente sobre la banda transportadora, a una altura y ángulo que permita una visión clara y completa del área de inspección.

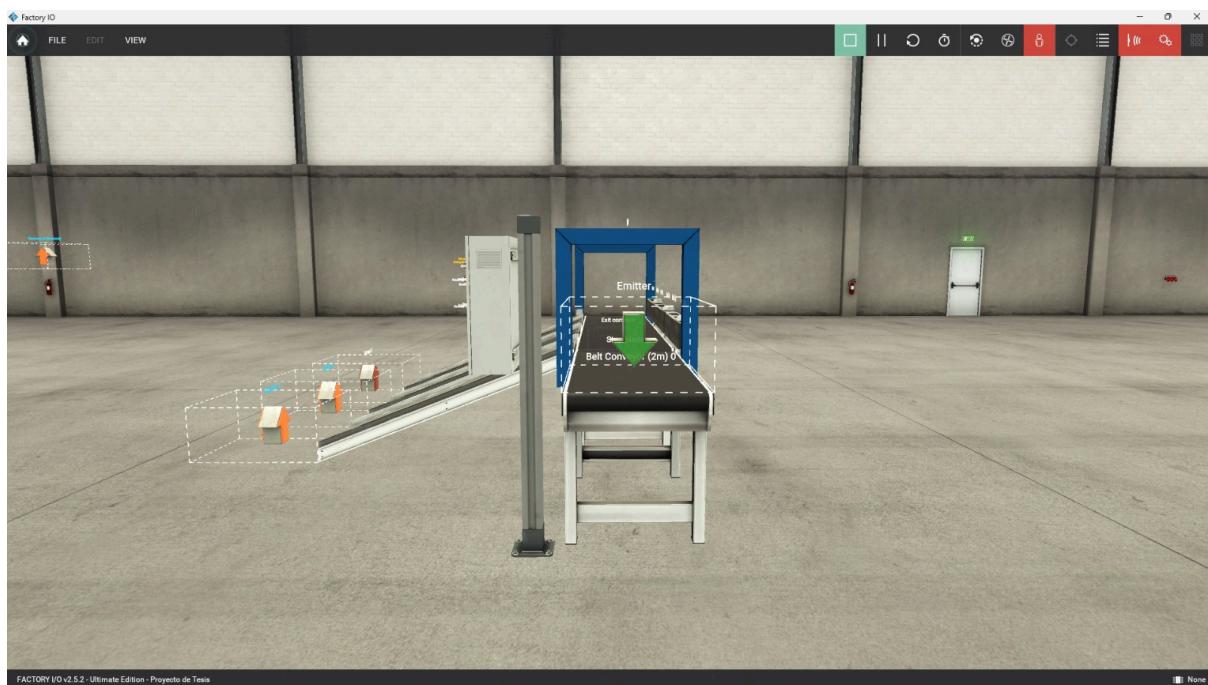
**Raspberry Pi y Electrónica de Control:** En un compartimento protegido, accesible pero seguro, cerca de los componentes que controla para minimizar la longitud de los cables.

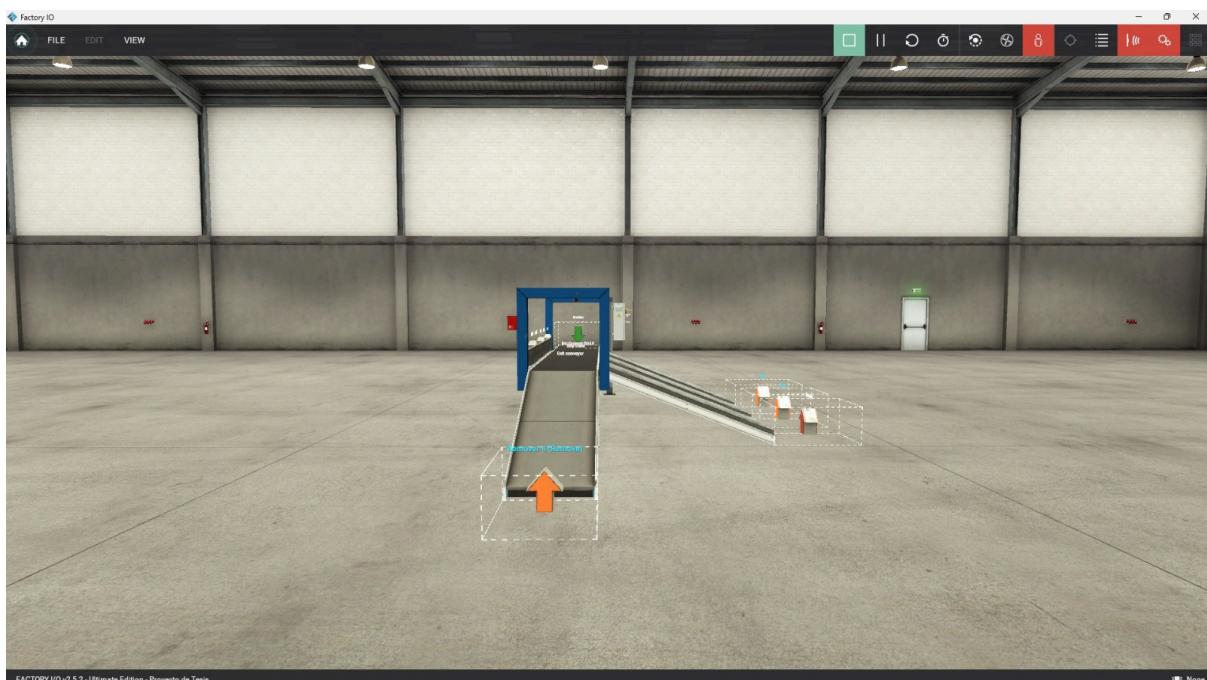
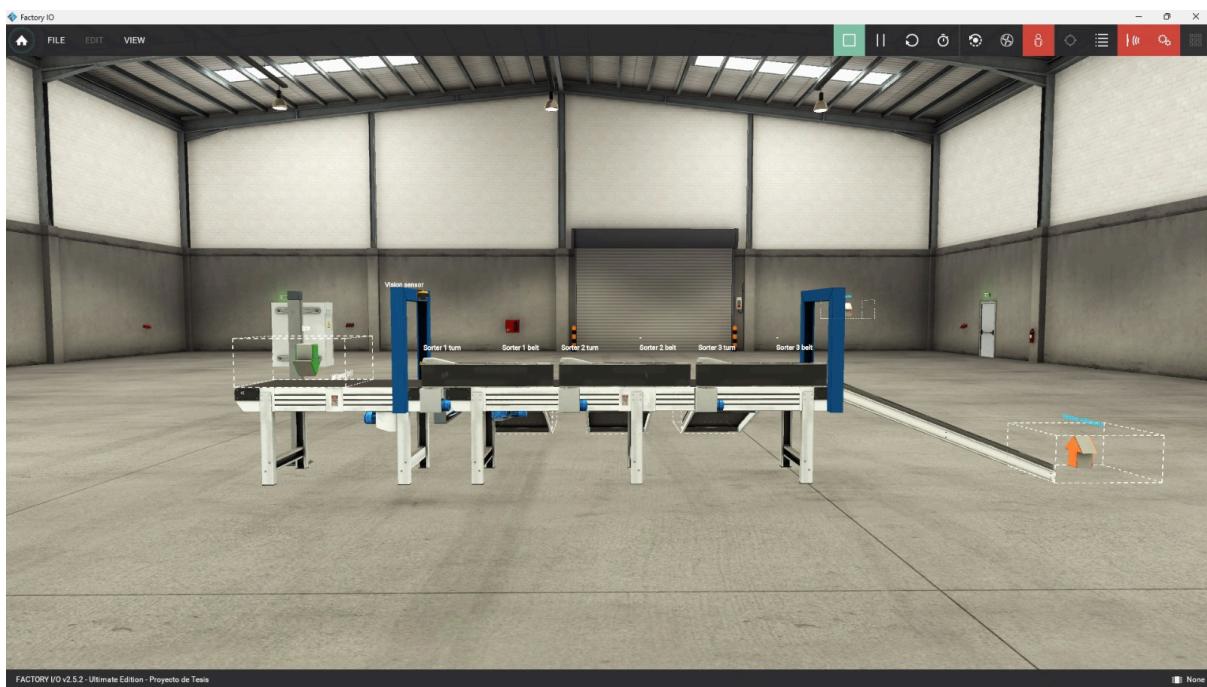
**Actuadores de Separación:** Ubicados secuencialmente a lo largo de la banda, después de la zona de visión de la cámara. La posición de cada actuador debe permitir tiempo suficiente para que la decisión de la IA se procese y el actuador reaccione antes de que el objeto lo sobrepase.

**Rampas/Contenedores de Salida:** Posicionados lateralmente a la banda, alineados con cada actuador para recibir los objetos desviados.

## **VIII. 4. Armado final**

Este seria un ejemplo de como quedaría el producto final





## IX. Diseño de pistas

### **IX. 1. Pista de señalización de leds**

### **IX. 2. Medidas de pistas**

### **IX. 3. Posicionamiento de elementos en pista**

## X. Conclusión

El desarrollo del prototipo de la "Banda Transportadora Inteligente" ha demostrado la viabilidad técnica de aplicar inteligencia artificial (específicamente el modelo YOLOv8) y visión por computador para la clasificación automatizada y en tiempo real de diferentes tipos de residuos sólidos. Se logró integrar exitosamente los componentes de hardware (banda transportadora, cámara, Raspberry Pi, actuadores) y software para crear un sistema capaz de identificar y separar físicamente materiales como metal, plástico y cartón. Los resultados de las pruebas indican que el sistema puede alcanzar [mencionar precisión lograda, ej: "una precisión de clasificación promedio del X%"] a una velocidad de procesamiento de [mencionar throughput, ej: "Y objetos por minuto"], lo cual representa una mejora significativa sobre los métodos manuales en términos de eficiencia y consistencia. Si bien existen limitaciones inherentes al prototipo, como [mencionar una o dos limitaciones clave encontradas, ej: "la sensibilidad a condiciones de iluminación variables" o "la capacidad de procesamiento para objetos muy rápidos o solapados"], el proyecto sienta una base sólida para futuras optimizaciones y desarrollos. Se concluye que la tecnología implementada tiene un alto potencial para transformar la gestión de residuos, contribuyendo a la economía circular y a la sostenibilidad ambiental, además de servir como una valiosa herramienta educativa en el campo de la automatización y la IA.

## XI. Bibliografía

## XII. Anexos

## **Cotización de elementos**

Tabla N.: costo total del proyecto

## **Programas y softwares**

<b>Programas y softwares</b>	<b>Descripción</b>
Sistema Operativo Raspberry Pi OS (anteriormente Raspbian)	Sistema operativo basado en Debian para la Raspberry Pi.
Python	Lenguaje de programación principal para los scripts de control, procesamiento de imágenes e inferencia de IA.
OpenCV	Librería de visión por computador para la captura y preprocesamiento de imágenes/video.
TensorFlow Lite / PyTorch Mobile (o framework YOLOv8 nativo)	Framework de deep learning para ejecutar el modelo YOLOv8 en la Raspberry Pi (optimizado para inferencia).
Factory I/O (para simulación de diseño)	Software de simulación para modelar y probar sistemas de automatización industrial, útil para el diseño conceptual de la banda.

Tabla N.: lista de programas y softwares utilizados para el desarrollo del proyecto

## **Proceso de elaboración**

### **Códigos**

## **Hojas técnicas**