



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TEMA:

**Análisis y diseño de un sistema automatizado para la clasificación y valorización  
de residuos industriales.**

AUTOR:

Jara Lara Jorge Isaac

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TUTOR:

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo. Ph.D.

Guayaquil, Ecuador

25 de agosto del 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Jara Lara Jorge Isaac** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TUTOR

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. Ph. D.

DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. Ph. D.

---

Guayaquil, a los 25 días del mes de agosto del año 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Jara Lara Jorge Isaac

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación “**Análisis y diseño de un sistema automatizado para la clasificación y valorización de residuos industriales.**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónica y Automatización** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 25 días del mes de agosto del año 2025

EL AUTOR

---

JARA LARA, JORGE ISAAC



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Jara Lara Jorge Isaac

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Análisis y diseño de un sistema automatizado para la clasificación y valorización de residuos industriales.**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 25 días del mes de agosto del año 2025

EL AUTOR



JARA LARA, JORGE ISAAC



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

## TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

### INFORME SOFTWARE ANTIPLAGIO

#### REPORTE DE COMPILATIO



Reporte Compilatio del trabajo de titulación de la Carrera en ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN denominado: **“Análisis y diseño de un sistema automatizado para la clasificación y valorización de residuos industriales.”** del estudiante Jara Lara, Jorge Isaac se encuentra al 5% de coincidencias.

Atentamente,

Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar. Ph.D.

**DOCENTE-TUTOR**

---

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación se lo dedico principalmente a mi familia, ya que por ellos aportaron cada grano y sacrificio aportaron con amor para poder realizar el objetivo, además de mostrarles que puedo llegar a ser un profesional y un ser útil en la sociedad, porque ellos también forman parte indispensable del desarrollo de un profesional. Ustedes me han ofrecido confianza y motivación, lo cual me ha permitido mejorarme cada día más, y forjarme en sabiduría y conocimiento en el camino del aprendizaje.

Además, dedico este trabajo a todos los profesores que me han aportado sus conocimientos e ideologías para formarme como profesional en el ámbito académico y laboral.

**EL AUTOR**

**JARA LARA, JORGE ISAAC**

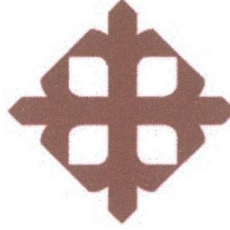
## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a Dios por darme esa fortaleza y destreza de poder terminar este trayecto de mi vida y darme las fuerzas de no rendirme antes cualquier obstáculo que tenga en mi camino. Quiero agradecer a mi familia. Ellos han mostrado total apoyo y confianza en mí lo cual se evidenció a lo largo de este tiempo de estudio que se inició.

También quiero agradecer al Ingeniero Bayardo Bohórquez al cuál siempre ha estado disponible para ayudar, también prestos a ofrecerme su sabiduría y entendimiento para crear a un profesional. Agradezco ese apoyo durante toda la carrera, agradezco de su ayuda para lograr este trabajo. A mis mejores amigos que me han acompañado en este trayecto, por darme esos ánimos para culminar mis estudios y por consiguiente lograr mi meta que es ser un profesional útil en la sociedad.

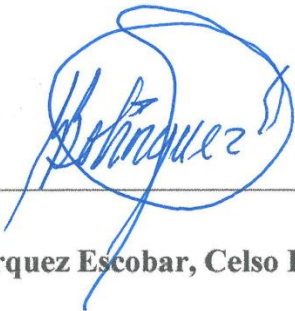
EL AUTOR

JARA LARA, JORGE ISAAC

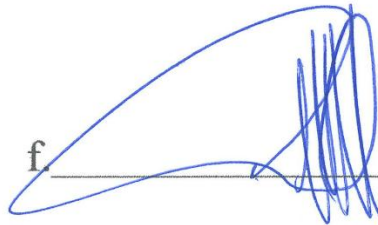


**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA  
DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. 

**Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. Ph. D.**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. 

**Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier. M.Sc.**  
COORDINADOR DEL ÁREA

f. 

**Ing. Bonilla Sánchez, Ronnie Alexander. M.Sc.**  
OPONENTE

## Índice General

Resumen.....	XIV
Abstract.....	XV
Capítulo 1:.....	2
Descripción General del Trabajo de Titulación .....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Definición del Problema.....	3
1.3. Justificación del Problema.....	4
1.4. Objetivos del Problema de Investigación.....	5
1.5.1. Objetivo General.....	5
1.5.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Metodología de Investigación.....	5
Capítulo 2:.....	7
Fundamentación Teórica.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Definición de un sistema de control.....	8
2.3. Tipos de Sistemas de control.....	10
2.3.1. Sistema de control de lazo abierto.....	10
2.3.2. Sistema de control de lazo cerrado.....	11
11	
2.3.3. Sistemas de Automatización.....	12
2.4. Interfaz gráfica de usuario.....	13
2.4.1. Interfaz de Usuario Gráfica (GUI).....	14
2.4.2. Interfaz de Usuario de Línea de Comandos (CLI).....	14
2.4.3. Interfaz de usuario Natural (NUI).....	14
2.4.4. Interfaz de usuario Basado en la Voz.....	14
2.4.5. Interfaz de usuario Táctil.....	15
2.5. Criterios de sistemas autómatas de recolección de residuos.....	15
2.6. Protocolos y normas internacionales que se deben usar para cuidar los procesos y la automatización.....	16
2.6.1. IEEE 1451 – Normas para sensores y actuadores inteligentes.....	17
2.6.2. IEEE 802.3 / IEEE 802.11 – Protocolos de comunicación Ethernet y Wi-Fi.....	18
2.6.3. IEC 61131-3 – Programación de controladores lógicos programables (PLC).....	19
2.6.4. IEEE 1588 – Protocolo de sincronización de tiempo en sistemas distribuidos.....	20

2.6.5. ISA-95 (IEC 62264) – Integración de sistemas de control y sistemas de gestión.....	21
2.7. Automatización de Procesos.....	21
2.7.1. Sistema de clasificación de control Automático.....	21
2.7.2. Potencia Eléctrica.....	23
2.7.3. Vida útil de baterías.....	23
2.7.4. Determinación de distancias mediante ondas.....	24
2.7.5. Detección de Residuos Metálicos.....	24
2.7.6. Detección de Residuos Orgánicos.....	25
2.7.7. Identificación de Residuos Plásticos.....	27
2.8. Componentes del sistema.....	29
2.8.1. Microcontroladores.....	29
2.8.2. Detectores y Captadores.....	30
2.8.3. Actuadores y Pre-actuadores.....	30
2.8.4. Lenguaje de Programación.....	31
2.9. Conceptos estándar de un sistema de recolección.....	33
Capítulo 3: Análisis del Sistema.....	35
3.1. Descripción general del sistema clasificador.....	35
3.1.1. Entradas y salidas del sistema.....	37
3.1.2. Estructura de procesos.....	38
3.2. Requerimientos del sistema.....	41
3.2.1. Requerimientos funcionales.....	41
3.2.2. Requerimientos no funcionales.....	42
3.3. Diseño conceptual del sistema.....	43
3.4. Estructura Electrónica.....	44
3.4.1. Determinación de sensores para el reconocimiento de residuos.....	46
3.4.2. Determinación de servomotor para las compuertas.....	51
3.4.3. Determinación del motor.....	52
Capítulo 4:.....	53
Desarrollo y Resultados del Sistema Propuesto.....	53
<b>4</b> .....	53
4.1.1. Sistema de Control.....	54
4.2. Diseño del prototipo.....	58
4.3. Diagrama de flujo.....	59
4.4. Resultados obtenidos.....	60
Capítulo 5:.....	63
Análisis Técnico-Económico de Resultados Obtenidos.....	63
5.1. Análisis económico.....	63
5.2. Conclusiones.....	66

5.3. Recomendaciones.....	67
Bibliografía .....	68

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

<b>Figura 2. 1</b> Clasificación Tecnológica de los Sistemas de Control.....	9
<b>Figura 2. 2</b> Sistema de control en lazo abierto. ....	10
<b>Figura 2. 3</b> Sistema de control en lazo cerrado. ....	11
<b>Figura 2. 4</b> Sensor Inductivo LJ12A3-4-Z/BX.....	25
<b>Figura 2. 5</b> Sensor MQ-02 que percibe gas. ....	25
<b>Figura 2. 6</b> Sensor capacitivo LJC18A3-10-Z/BY. ....	28
<b>Figura 2. 7</b> Principio de condensador de placa ideal.....	28
<b>Figura 2. 8</b> Estructura total de un Microcontrolador.....	29
<b>Figura 2. 9</b> Accionadores.....	31
<b>Figura 2. 10</b> Alto nivel – Bajo nivel programación - Código maquina.....	32

### Capítulo 3

<b>Figura 3. 1</b> Entradas y salidas del clasificador de residuos. ....	37
<b>Figura 3. 2</b> Diagrama de bloques de funciones del Clasificador de residuos. ....	39
<b>Figura 3. 3</b> Diseño mecatrónico del Clasificador Automático.....	44

### Capítulo 4

<b>Figura 4. 1</b> Diagrama electrónico de Clasificador Automático.....	53
<b>Figura 4. 2</b> Diagrama de la Placa PCB. ....	54
<b>Figura 4. 3</b> Código de programación del Arduino. ....	55
<b>Figura 4. 4</b> Compilación de la programación antes de subirlo al Arduino.....	56
<b>Figura 4. 5</b> Prueba de códigos de programación. ....	57
<b>Figura 4. 6</b> Concepto de estructura mecánica. ....	58
<b>Figura 4. 7</b> Diagrama de flujo del sistema.....	60

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

<b>Tabla 2. 1</b> Tipos de Automatización, Ventajas y Desventajas.....	13
<b>Tabla 2. 2</b> Limitaciones del sistema de control manual con relación al automático.	23
<b>Tabla 2. 3</b> Lista de Modelos del Sensor MQ.....	26
<b>Tabla 2. 4</b> Clasificación de los transductores.....	30

### Capítulo 3

<b>Tabla 3. 1</b> Lista de descripciones de diseño del Clasificador Automático.....	35
<b>Tabla 3. 2</b> Requerimientos para el diseño electrónico. ....	45
<b>Tabla 3. 3</b> Comparación entre modelos de sensores inductivos.....	46
<b>Tabla 3. 4</b> Comparación entre modelos de sensores capacitivos. ....	47
<b>Tabla 3. 5</b> Comparación entre sensores ópticos .....	48
<b>Tabla 3. 6</b> Comparación de sensores de peso.....	49
<b>Tabla 3. 7</b> Comparación entre sensores ultrasónicos. ....	50
<b>Tabla 3. 8</b> Comparación de servomotores.....	51
<b>Tabla 3. 9</b> Comparación de motores paso a paso. ....	52

### Capítulo 4

<b>Tabla 4. 1</b> Resultados de detección de residuos.....	61
--	----

### Capítulo 5

<b>Tabla 5. 1</b> Costos referenciales del sistema. ....	64
--	----

## **Resumen**

El proyecto de titulación consistió en el análisis y diseño de un sistema automatizado orientado a la clasificación y valorización de residuos industriales. La propuesta se fundamenta en el uso de tecnologías accesibles como Arduino Mega, sensores y actuadores, que en conjunto permiten identificar, separar y dirigir los diferentes tipos de desechos hacia su contenedor correspondiente. A lo largo del desarrollo se abordaron aspectos teóricos y prácticos, incluyendo la fundamentación en normas internacionales, la selección de componentes electrónicos adecuados y la elaboración de diagramas de control, flujo y diseño electrónico. Estos elementos garantizaron la viabilidad técnica del sistema y su aplicabilidad en entornos que buscan eficiencia y sostenibilidad.

El prototipo diseñado demostró ser una solución eficiente y económica, capaz de optimizar los procesos de gestión de residuos, reducir errores humanos y disminuir los impactos ambientales. Se comprobó que el sistema facilita la clasificación de materiales como plásticos, metales, papel y desechos orgánicos, fomentando la economía circular y una gestión responsable de los recursos. De igual manera, se realizó un análisis técnico–económico que evidenció la factibilidad del proyecto, arrojando un costo total aproximado de 200 dólares, monto que resulta accesible para pequeñas y medianas empresas. En conclusión, este trabajo constituye una alternativa práctica y replicable que combina innovación tecnológica con beneficios ambientales y económicos.

## **Abstract**

The degree project focused on the analysis and design of an automated system for the classification and valorization of industrial waste. The proposal is based on the use of accessible technologies such as Arduino Mega, sensors, and actuators, which together allow the identification, separation, and allocation of diverse types of waste into their corresponding containers. Throughout its development, both theoretical and practical aspects were addressed, including the review of international standards, the selection of appropriate electronic components, and the design of control diagrams, flowcharts, and electronic schematics. These elements ensured the technical feasibility of the system and its applicability in environments seeking efficiency and sustainability.

The prototype designed proved to be an efficient and low-cost solution, capable of optimizing waste management processes, reducing human errors, and minimizing environmental impacts. The system successfully facilitated the classification of materials such as plastics, metals, paper, and organic waste, thus promoting circular economy practices and responsible resource management. A technical–economic analysis also demonstrated the feasibility of the project, with a total cost of approximately two hundred dollars, which makes it affordable for small and medium-sized enterprises. In conclusion, this work offers a practical and replicable alternative that combines technological innovation with environmental and economic benefits.

## **Capítulo 1:**

### **Descripción General del Trabajo de Titulación**

#### **1.1. Introducción.**

En el contexto actual, la gestión de residuos industriales se ha convertido en un componente fundamental para proteger el planeta y promover una economía más sostenible. A pesar de la creciente concienciación sobre este problema, muchas empresas aún enfrentan importantes desafíos en la clasificación y el reciclaje de residuos. Esto se debe principalmente a la falta de conocimiento sobre los procesos correctos y la escasez de sistemas automatizados que puedan realizar estas tareas de manera efectiva.

Uno de los mayores desafíos mundiales actuales es la enorme cantidad de residuos industriales que, si no se gestionan adecuadamente, pueden contaminar gravemente el aire, el agua y el suelo. Esto no solo daña los ecosistemas naturales, sino que también perjudica la salud humana y reduce la calidad de vida. Los efectos nocivos de las montañas de residuos sin utilizar pueden abordarse mediante un reciclaje y una reutilización efectiva. La automatización del proceso de clasificación de residuos se considera una solución prometedora, ya que permite el procesamiento y la recuperación de materiales reutilizables, reduciendo así la cantidad de residuos contaminantes. La creación e instalación de sistemas inteligentes que gestionen eficazmente estos residuos representa un avance tecnológico que puede ayudar a reducir los niveles de contaminación global y promover una cultura de economía circular en el sector industrial.

Es evidente que se necesitan soluciones tecnológicas que no solo mejoren la eficiencia de la gestión de residuos, sino que también ayuden a reducir costes y optimizar el uso de recursos. Los sistemas automatizados que identifican y clasifican los residuos con precisión permitirán a las empresas gestionarlos de forma más responsable y

sostenible. Este proyecto se centra en el diseño y análisis de un sistema automatizado de clasificación y reciclaje de residuos industriales que se ajusta a las políticas de sostenibilidad y responsabilidad social de las organizaciones. Con el desarrollo de este sistema, nuestro objetivo no solo es mejorar la gestión de residuos, sino también promover una economía circular que maximice el uso de materiales, creando así un futuro más limpio y saludable para todos.

## **1.2. Definición del Problema.**

La gestión de residuos industriales se enfrenta a importantes desafíos debido a la falta de sistemas automatizados de clasificación y reciclaje. Actualmente, este proceso depende principalmente del trabajo manual, lo que resulta en una clasificación, identificación y utilización ineficientes de los residuos. El procesamiento manual no solo es propenso a errores humanos, sino que también carece de una supervisión continua para garantizar la correcta clasificación de los diferentes tipos de residuos. Esto puede provocar una mezcla inadecuada y un uso ineficiente de materiales reciclables o reutilizables.

Esta situación tiene impactos negativos tanto en el medio ambiente como en la economía circular. La necesidad de personal especializado y una supervisión constante puede causar retrasos e incrementar los costes operativos. Además, la falta de sistemas automatizados limita la eficiencia de la recuperación de residuos y reduce las oportunidades de reutilización y reciclaje.

Por lo tanto, el desarrollo de un sistema automatizado de clasificación y reciclaje de residuos industriales es crucial. Esta solución no solo mejoraría la eficiencia y reduciría los errores, sino que también optimizaría el uso de los recursos. La falta de tecnología adecuada dificulta la gestión sostenible de residuos y la hace

incompatible con las políticas de responsabilidad ambiental y social.

### **1.3. Justificación del Problema.**

El análisis y diseño de un sistema automatizado para clasificar y dar valor a los desechos industriales es una solución útil, barata y eficaz al creciente problema de acumular y manejar mal estos residuos. Usando tecnologías fáciles de conseguir como Arduino Mega, sensores y motores básicos tratan de hacer un sistema que pueda reconocer, separar y valorar distintos tipos de basura. Este modo deja mejorar los procesos de manipulación de desperdicios desde un ángulo técnico simple, pero bien hecho; es bueno para las empresas pequeñas y medianas que no tienen sistemas complicados ni muchos recursos.

La importancia de este diseño está en su poder para minimizar el daño que hacen las industrias al medio ambiente, ayuda con una buena selección de residuos lo cual hace más fácil su reciclaje o reutilización. Al dar valor a cosas como metales, plásticos y papel, se impulsa un ciclo económico y se evita que estos elementos acaben en basureros o contaminen el entorno. Esta forma moderna no solo mejora la manera en que se usan los recursos, sino que también es una buena opción para negocios que quieren tener una mejor gestión ambiental con poco dinero y buen resultado.

Además, este tipo de sistemas puede ser replicado muy fácil y adaptable para varios lugares, lo que lo hace una herramienta útil para estudiantes, técnicos y pequeñas empresas que buscan aplicar formas que ayudan al medio ambiente e ideas nuevas. El plan planteado no solo arregla un problema ambiental; también empuja el avance técnico en la zona y produce un sentimiento de la necesidad de usar los recursos con cuidado, aportando así a bajar la contaminación y a cuidar la Tierra por medio de maneras que son fáciles y duran mucho.

#### **1.4. Objetivos del Problema de Investigación.**

##### **1.5.1. Objetivo General.**

Diseño y elaboración de un sistema automático para recoger y ordenar desechos industriales, dirigidos a mejorar procesos de reciclar y volver utilizar.

##### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

1. Diagnostico técnico de procesadora de residuos.
2. Diseñar sistema electrónico que permita el reconocimiento y la clasificación de residuos sólidos de una forma automatizada.
3. Realizar un presupuesto referencial del sistema propuesto.

#### **1.5. Hipótesis.**

La propuesta específica de Tesis está destinada a contribuir a la clasificación de residuos sólidos según la gestión. Para ello, se consideró la Norma Técnica Ecuatoriana vigente NTE INEN 2841:2014 de la gestión de residuos sólidos, en la cual se centra la adecuada y suficiente clasificación de estos residuos, basada en su gestión.

#### **1.6. Metodología de Investigación.**

Este estudio empleó una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos. Los métodos cuantitativos recopilaron datos objetivos mediante observaciones técnicas, estimaciones de eficiencia, simulaciones y posibles mediciones durante la implementación de sensores, actuadores y sistemas de control. Los métodos cualitativos se emplearon para analizar la viabilidad de la implementación, la experiencia del usuario y el impacto organizacional de la integración de un sistema automatizado en los procesos de clasificación y reciclaje de residuos industriales.

El mismo estudio también usó formas de prueba y otras no tan rigurosas. La parte del testeó se centró en crear, chequear y ver un sistema que separa los desechos por tipo y valor. Las pruebas controladas midieron la rapidez del mecanismo, qué bien identificaba el material y qué usable era. La parte sin prueba se enfocó en mirar el ambiente actualmente, no cambia las cosas directamente para saber cómo falta de máquinas impacta sostenibilidad y eficacia del proceso.

Finalmente, este estudio encuentra y revisa el estado hoy y ofrece una forma técnica que se puede realizar y repetir para mejorar el manejo de basura. Este método no solo deja medir las cosas dentro de los sistemas automatizados, sino que también ayuda al proceso de ingeniería de desarrollo que cuida el planeta apoyan la prevención de efectos dañinos al medio ambiente y el uso responsable de los recursos.

## Capítulo 2:

### Fundamentación Teórica

#### 2.1. Antecedentes de la investigación.

Uno de los cambios grandes en la forma en que se clasifican y reutilizan los desperdicios de las fábricas es como las maneras simples han pasado a un sistema moderno que ve el desperdicio como algo útil y no solo basura. Este cambio se hizo oficial con la entrada a la Jerarquía de Administración de Residuos, la cual puso primero los modos para manejar desperdicio no solo por la protección del ambiente sino también en salud, seguridad y sostenibilidad, así impulsando la creación de residuos más limpios y un buen uso de los recursos. Cuando las fábricas empezaron a entender que los flujos de residuos de un sector podrían servir como insumos útiles para otro, la idea de recuperar recursos se volvió clave para las estrategias en gestión de residuos animando al trabajo conjunto entre industrias cerrando ciclos para los materiales (Zailani, 2023).

La Jerarquía de Manejo de Desperdicios también cambio la forma antigua de bajar usar y volver a usar al dar un plan mejor que cubría más cosas ambientales y económicas. Estos pasos unidos muestran un entendido en aumento por la necesidad de tener sistemas que gestionan los desperdicios de manera holística y adaptable, y resaltan que las normas y acciones en las empresas son muy importantes para mejorar la recuperación de recursos y bajar daño al medio ambiente (Zailani, 2023).

Los nuevos aparatos han cambiado mucho los modos automáticos de manejar la basura, ayudando a tener mejores resultados, cuidar el medio ambiente y estar más seguros; a la vez que hacen más fácil que los distintos trabajos se conectan mejor. La integración de la automatización y la tecnología en sensores de alta inteligencia ayuda a monitorear en tiempo real los procesos de recogida de residuos, facilitando la

optimización dinámica de rutas y reduciendo los costes operativos mediante una mejor supervisión del progreso de las tareas y la gestión de incidentes (Chachak Eli, 2023), (Unión Europea, 2021).

Este método que se enfoca en los datos no solo mejora el manejo, sino que también impulsa el cambio de manejar la basura a grupos conectados, donde las partes aceptables pueden trabajar juntas mejor por medio de sitios en línea. También, usando cosas como analizar datos complejos, la Inteligencia Artificial y las cadenas de bloques han ayudado a comprender y mejorar los resultados para rendir cuentas lo que deja a tanto negocios como gobernante tomar mejores decisiones que utilice bien los recursos y disminuya el daño al medio ambiente (Fulcrum Point & Co., 2025), (LJP Waste Solutions, 2025).

Estas nuevas formas de realizar los procesos también están muy ligadas a metas más grandes sobre durabilidad ya que ayudan al cambio de modelos de gestión tradicional a un ciclo reutilizable y fomentan la optimización de recursos como también propósitos de valorización energética con residuos. Con el tiempo, compañías como Waste Removal USA usan en estas nuevas tecnologías. No solo mejoraron sus tareas, sino que también fijaron nuevos modelos en el sector mostrando el gran cambio que esas máquinas y métodos unidos traen al manejo de la basura (LJP Waste Solutions, 2025).

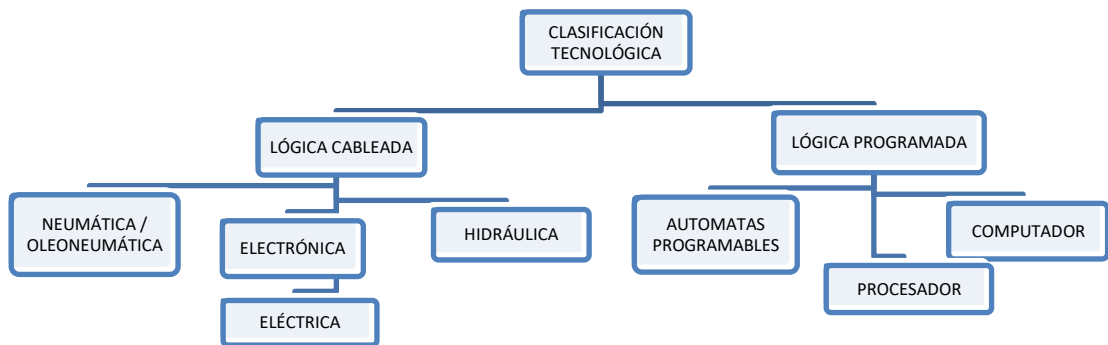
## **2.2. Definición de un sistema de control.**

Un sistema de control automatizado se compone fundamentalmente de varios componentes interconectados que, en conjunto, permiten una autonomía en procesos eficiente y fiable. En resumen, el sistema usa herramientas para poner información, como sensores o interfaces de humanos (HMI), para juntar datos en tiempo real del

lugar o de los pedidos del operador, así asegurando un flujo continuo de información sobre lo que está haciendo y cómo funciona el sistema. Estos datos van a un ordenador que funciona como el cerebro del sistema, procesando la información que entra y realizando las decisiones correctas para controlar ( IQS Directory, 2025).

Los controladores analizan la información recopilada y formulan instrucciones de salida, que se transmiten a los dispositivos de salida, concretamente actuadores o manipuladores, que ejecutan físicamente las acciones previstas, como mover una válvula, arrancar un motor o ajustar un brazo robótico (Lee S. , 2025). Estos actuadores implementan las señales de control, influyendo directamente en las operaciones mecánicas o eléctricas del sistema para lograr el resultado deseado. Para garantizar el correcto funcionamiento, los dispositivos de salida también pueden proporcionar retroalimentación a los sensores, cerrando el ciclo y permitiendo la monitorización y el ajuste continuos del rendimiento del sistema ( IQS Directory, 2025).

**Figura 2. 1** Clasificación Tecnológica de los Sistemas de Control.



**Fuente:** (Martinez, 2023).

### 2.3. Tipos de Sistemas de control.

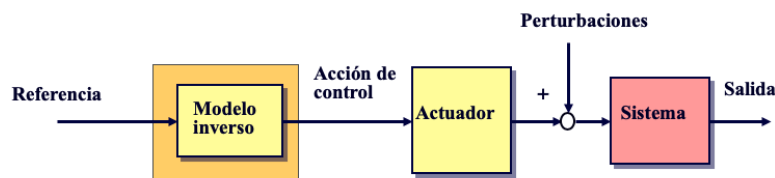
El objetivo de un sistema de control es detectar cualquier cambio en el proceso controlado, manteniéndolo al mismo tiempo dentro de los límites preestablecidos; en ocasiones, estos límites pueden ser variables como la temperatura, la presión o el nivel.

Lenguajes y algoritmos específicos proporcionan retroalimentación y, en ocasiones, se utilizan para controlar el proceso. Según el objetivo, se pueden utilizar los siguientes tipos de sistemas de control (SDI Industrial, 2022).

#### 2.3.1. Sistema de control de lazo abierto.

Un sistema de control de lazo abierto es aquel sistema de control que no recibe información sobre el valor de la variable del producto o proceso que intenta controlar. Un ejemplo es la lavadora "automática" común, que ejecuta el ciclo de lavado en función del tiempo sin medir la limpieza de la ropa, que es el resultado deseado. Otro ejemplo es una tostadora: al tostar pan, se establece un tiempo, asumiendo que este tiempo es suficiente para que el pan alcance el grado de tostado deseado, pero la tostadora no tiene forma de determinar si el pan está lo suficientemente tostado (Alberto Brunete, 2025).

**Figura 2. 2** Sistema de control en lazo abierto.



**Nota:** Diagrama de bloques de un sistema de control lazo abierto **Fuente:** (Mandado, 2009).

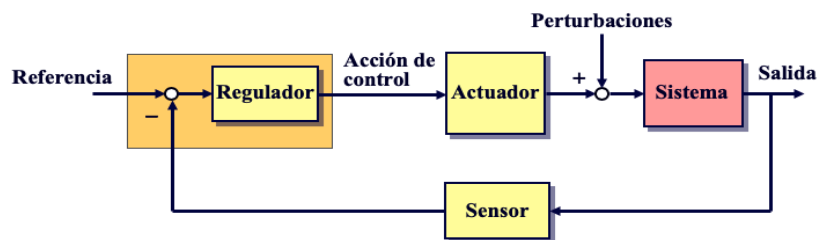
Estos sistemas se caracterizan por:

- Ser sencillos y de fácil mantenimiento.
- Estar afectados por perturbaciones
- Depender altamente de la calibración del sistema.

### 2.3.2. Sistema de control de lazo cerrado.

Los sistemas de control de lazo cerrado se caracterizan por recibir información sobre el valor de la variable controlada en su entrada. Por ello, se denominan sistemas de retroalimentación. Un ejemplo de un sistema de control lógico de lazo cerrado es el control del nivel de agua en un tanque. La cantidad de agua que fluye al tanque depende del nivel de agua en un momento dado. Otro ejemplo de un sistema de control de lazo cerrado es el control de la velocidad de un motor de CC. Para ello, se utiliza un tacómetro para medir la velocidad, cuya salida se conecta a la entrada del sistema de control. (Alberto Brunete, 2025)

**Figura 2. 3** Sistema de control en lazo cerrado.



**Nota:** Diagrama de bloques de sistema de control lazo cerrado. **Fuente:** (Mandado, 2009)

### **2.3.3. Sistemas de Automatización.**

La automatización ha tomado un papel clave en el cambio moderno de procesos en trabajos y oficinas, permitiendo usar mejores los recursos y hacer que las operaciones sean más efectivas en varios campos. Con el avance de técnicas como la IA y el IoT, las empresas han encontrado en la automatización no solo una forma de bajar costos, sino también una manera para ser más competitivas en un mercado cada vez más digitalizado. Barrera y otros destacan que estas tecnologías nuevas han cambiado cómo se maneja el trabajo, ayudando a poner en marcha estrategias de automatización que llevan un mejor incremento a la ganancia y eficacia (Barrera, 2024). Además, Duitama (2025) habla de cómo lo que controla maquinas, donde están sistemas de aire, agua y eléctricos, es muy importante en este cambio; cada uno da buenas cosas que se ajustan a las necesidades diferentes de varios trabajos (Duitama, 2025). Este avance tecnológico muestra que, aunque el hacer cosas por sí mismo puede traer problemas técnicos, lo que se puede mejorar es grande.

En cuanto a la preparación y enseñanza, los modelos de automatización que utilizan tecnología IoT son básicos para capacitar a trabajadores en áreas técnicas. Acosta y Otoyá (2023) sostienen que el armamento de laboratorios automatizados con estas tecnologías crea un espacio real que mejora la calidad de la instrucción, dando acceso a los alumnos a herramientas muy útiles y relevantes para su campo de estudio (Acosta, 2023). Esta habilidad se vuelve muy importante en la preparación de técnicos, con el objetivo de cumplir las necesidades del mercado laboral actual. Por otro lado, Martín dice que la automatización de trabajos, como la mediación con ayuda de IA, trae nuevos problemas éticos y prácticos, lo que muestra la necesidad de pensar bien en cómo usar estas herramientas (Martín, 2024). Al mirar juntas estas investigaciones, parece que la automatización, aunque da grandes beneficios, necesita

una preparación buena y tener en cuenta sus efectos en distintos lugares.

**Tabla 2. 1** Tipos de Automatización, Ventajas y Desventajas.

Automatización	Cuando emplear	Ventajas	Desventajas
Fija	Gran volumen de producción de piezas y ciclo de vida largos	Máxima Eficiencia Bajo coste por unidad	Inflexibilidad Gran inversión inicial
Programable	Producción por lotes, productos con diferentes opciones	Bajo coste para altos volúmenes de piezas Flexibilidad para cambiar con modificaciones en el producto	Se requiere mucho tiempo para ajustarlo a nuevos productos Mayor coste en relación con automatización fija
Flexible	Bajos ratios de producción, variedad por demanda	Flexibilidad para cambiar con variaciones en el diseño. Adaptable a productos personalizados	Gran inversión inicial Mayor coste en relación con la automatización fija y la programable

**Nota:** Tabla de Tipos de Automatización **Fuente:** (Izaro , 2020)

#### 2.4. Interfaz gráfica de usuario.

Una pantalla de usuario visual, también denominada GUI, es la manera en la que la interacción entre un dispositivo y un usuario se muestra a través de la pantalla. Este aparato puede ser una ayuda o instrumento de software, un equipamiento hardware que se relaciona a través de un monitor con un usuario, o un servicio. El objetivo de una guía de usuario es cambiar los signos, las imágenes y las acciones de un sistema en una forma que un usuario pueda comprender, ver o leer, de modo que la GUI pueda interactuar a través de estas formas. Además, se le llama, simplemente, la interfaz del usuario, y sirve para que el usuario de un programa pueda decirle al mismo programa cuáles son las peticiones que desea realizarle. O en respuesta a las peticiones que el equipamiento le hace (García, 2023).

Los tipos de interfaces más generales son: “Interfaz de usuario gráfica (GUI), Interfaz de usuario de línea de comandos (CLI), Interfaz de usuario natural (NUI),

Interfaz de usuario basada en voz e Interfaz de usuario táctil.” (Salazar, 2023).

#### **2.4.1. Interfaz de Usuario Gráfica (GUI).**

La interfaz de usuario gráfica (GUI) utiliza componentes visuales como por ejemplo botones, ventanas y menús para posibilitar la interacción del usuario. Es la clase de vínculo más popular usada en las interfaces de usuario y en los software y sistemas operativos.

#### **2.4.2. Interfaz de Usuario de Línea de Comandos (CLI).**

La interfaz de línea de comandos (CLI) se apoya en el texto y requiere que los usuarios introduzcan órdenes determinadas para relacionarse con el sistema. A pesar de que es un uso menos frecuente en las aplicaciones para consumo, es largamente usado en los ambientes de creación y administración de sistemas.

#### **2.4.3. Interfaz de usuario Natural (NUI)**

La interfaz de usuario natural (NUI) posibilita a los usuarios comunicarse de manera natural utilizando lenguaje, acciones y voz. Existen ejemplos de NUI que incluyen asistentes de voz como Siri o Alexa, además de herramientas de identificación por gestos.

#### **2.4.4. Interfaz de usuario Basado en la Voz.**

Esta interfaz facilita a los usuarios controlar distintas aplicaciones o dispositivos por medio de la voz. Ha ganado relevancia con la expansión de asistentes virtuales de comandos de voz y dispositivos de inteligencia.

#### **2.4.5. Interfaz de usuario Táctil.**

Las interfaces de usuario táctiles se encuentran en herramientas como los celulares y las tabletas. Los usuarios interactúan con el fin de llevar a cabo acciones cuando tocan y mueven la pantalla. A lo largo de estas secciones se utiliza el enfoque de (Salazar, 2023).

#### **2.5. Criterios de sistemas automáticos de recolección de residuos.**

En estos días la manera en que manejamos los desechos de las fábricas se ha vuelto muy importante por el gran cantidad de basura que dejan las fábricas y su efecto en el medio ambiente. La idea de usar máquinas para recoger residuos industriales es una forma nueva y buena para solucionar este problema. Este ensayo habla sobre los puntos clave que se deben tener en cuenta al hacer y usar sistemas automáticos para recolectar desechos, poniendo atención a partes como la mejora del trabajo, la capacidad de cambio, la protección, el cuidado por el medio ambiente y la relación entre lo que cuesta y lo que se gana.

Primero, la forma de hacer las cosas eficientemente es un punto muy importante para cualquier máquina que recoge basura industrial. Estas máquinas necesitan trabajar siempre y sin parar, haciendo el tiempo muerto lo menos posible y mejorando su desempeño. La eficiencia se logra a través del uso de tecnologías modernas como robótica, inteligencia artificial y sensores inteligentes que ayudan en la automatización de tareas y mejorar como trabajan las cosas. Según Smith y Brown (2020), usar robots en la recolección de sociedad puede aumentar la eficacia en un tercio al bajar el tiempo necesario para hacer trabajos que se repiten o son peligrosos.

En segundo lugar, la capacidad de cambio del sistema es muy importante, ya que los restos de industrias son diferentes en clase, tamaño y mezcla. Un sistema

automático debe poder usar muchos materiales, desde desechos duros y agudados hasta desperdicios malos para el medio ambiente, sin afectar su trabajo. La versatilidad en el plan junto a poder mejorar el programa y las piezas duras asegura que el sistema se ajustará a las necesidades que cambian en las empresas y reglas verdes. Un estudio hecho por González y Martínez (2019 ) muestra bien la importancia de los sistemas modulares. Estos dejan cambiar o agregar capacidad para tratar con desechos sin tener que cambiar todo el equipo.

En tercer lugar, lo verde es un criterio cada vez más relevante al hacer sistemas automáticos para recoger sobras de fábricas. Estos sistemas tienen que ayudar a reducir el daño al medio ambiente con formas responsables de manejar los residuos y usar los recursos bien. Usar tecnologías para reciclar y recuperar, así como gastar poca energía, son maneras clave para tener un funcionamiento verde. Según Hernández y Pérez (2022), los sistemas automáticos que usan energía nueva y métodos de reciclaje modernos pueden reducir las emisiones de gas invernadero hasta un 40%.

## **2.6. Protocolos y normas internacionales que se deben usar para cuidar los procesos y la automatización.**

Los protocolos de comunicación son conjuntos estandarizados de reglas y especificaciones que garantizan la transmisión fluida de datos entre dispositivos informáticos en una red.

Estos protocolos especifican aspectos como los formatos de los mensajes, los procedimientos para iniciar y finalizar las comunicaciones y los mecanismos para gestionar posibles errores. Su es permitir que los dispositivos (incluso aquellos con diferentes arquitecturas o sistemas operativos) interactúen eficientemente y promuevan la interoperabilidad (la capacidad de intercambiar información a través de redes locales y globales como Internet). Además de construir la estructura de

comunicación, estos protocolos también garantizan la seguridad y la confianza entre los sistemas (Universitat Carlemany, 2024).

### **2.6.1. IEEE 1451 – Normas para sensores y actuadores inteligentes.**

Este estándar proporciona funciones comunes, servicios de red, servicios de sensores y un formato de hoja electrónica de datos de sensores (TEDS) para facilitar la interoperabilidad entre los miembros de la familia de estándares IEEE 1451 sobre interfaces de red y sensores. Este estándar define las funciones y características comunes que realiza un Procesador de Aplicaciones de Red (NCAP) (que actúa como servidor 1451) y todos los dispositivos que implementan el NCAP. Además, define un conjunto de servicios de red, incluyendo comandos y respuestas, para que las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) que actúan como clientes accedan a los datos de sensores y datos.

De igual manera desarrolla un conjunto de funciones comunes y un formato TEDS para la familia de estándares IEEE 1451 de interfaces de sensores inteligentes. Esta funcionalidad es independiente del medio de comunicación físico e incluye los servicios comunes de red y sensores necesarios para controlar y gestionar sensores inteligentes y TEDS. Este estándar define un conjunto de API independientes de la implementación. También define la identificación universal única, la sincronización temporal y la seguridad para la familia de estándares IEEE 1451. Este borrador no especifica el acondicionamiento y la conversión de señales, los medios físicos ni cómo se utilizan los datos de sensores y TEDS en las aplicaciones.

Varios estándares de la serie IEEE 1451 comparten ciertas características comunes, pero aún no se ha establecido un conjunto común de servicios de red, servicios de sensores y formatos TEDS para facilitar la interoperabilidad entre ellos. Este estándar busca definir un conjunto común de servicios de red, servicios de sensores y formatos TEDS para los sensores inteligentes IEEE 1451, a fin de permitir la interoperabilidad entre estos sensores y promover la interoperabilidad entre los estándares de la serie 1451. El estándar IEEE 1451.0-2007 se ha revisado para abordar las necesidades de las ciudades inteligentes y las redes eléctricas impulsadas por tecnologías emergentes como los sistemas ciberfísicos (CPS) y el Internet de las Cosas (IoT) (IEEE Std 1451.0-2024, 2024).

### **2.6.2. IEEE 802.3 / IEEE 802.11 – Protocolos de comunicación Ethernet y Wi-Fi.**

Una diferencia clave entre Ethernet (IEEE 802.3) y Wi-Fi (IEEE 802.11) está en su forma de enviar datos, algo que cambia mucho su rendimiento, confiabilidad y lugares de uso. Ethernet, según la norma IEEE 802.3, usa cables reales, lo cual ayuda a tener velocidades buenas para datos y poca interferencia. Este tipo de conexión es fiable pues no le hace daño el ambiente ni las perturbaciones que a veces afectan a las comunicaciones inalámbricas (Maldonado, 2022).

El protocolo IEEE 802.11, llamado Wi-Fi, es un conjunto de reglas que tratan sobre la forma en que se usa el espacio para transmitir datos (MAC ) y las diferentes maneras en que se envían esos datos (PHY) para redes que no necesitan cables (WLAN). Este estándar ha cambiado para cubrir variadas características y formas de soportar muchos aparatos en redes llenas, un reto cada vez más común debido al aumento del Internet de las Cosas (IoT). Los estudios nuevos dicen que uniendo Wi-

Fi con maneras de aprender por computadora no solo mejora la eficiencia de las redes, sino que también da nuevas opciones para manejar datos y seguridad (Atzeni, 2022).

### **2.6.3. IEC 61131-3 – Programación de controladores lógicos programables (PLC).**

La guía IEC 61131-3 es una regla común a nivel mundial que dirige cómo se hace La guía IEC 61131-3 es una regla común a nivel mundial que dirige cómo se hace software para máquinas que hacen tareas automáticas, un marco igual para el desarrollo de programas en lugares donde hay máquinas trabajando. Esta guía muestra varios lenguajes de programación, así como el diagrama de escalera (LD), el texto estructurado (ST), y el lenguaje de lista de instrucciones (IL), que usan los expertos para hacer programas para PLC en espacios de trabajo con muchas maquinas.

La aplicación de IEC 61131-3 ha ganado mucha importancia en el mundo de la Industria 4.0, donde se intenta usar tecnología moderna para aumentar la eficacia y la flexibilidad de los métodos industriales. Un estudio nuevo trata sobre cómo los PLCs, junto con su programación según IEC 61131-3, dan una base fuerte para obtener digitalización y automatización en espacios industriales difíciles, recalando la necesidad de tener una mejor comprensión de estas tecnologías por parte de los investigadores y personas que trabajan con automatización para obtener digitalización y automatización en espacios industriales difíciles, recalando la necesidad de tener una mejor comprensión de estas tecnologías por parte de los investigadores y personas que trabajan con automatización (Sehr, 2021).

#### **2.6.4. IEEE 1588 – Protocolo de sincronización de tiempo en sistemas distribuidos.**

El estándar IEEE 1588, ya conocido como Protocolo de Tiempo Exacto (PTP), es clave para ajustar el tiempo en sistemas separados, sobre todo en casos que requieren gran exactitud. Desde su llegada, el estándar ha cambiado mucho, y su última versión, IEEE 1588-2019, contiene un perfil de alta exactitud basado en el protocolo "Conejo Blanco" que busca lograr una sincronización de menos de un nanosegundo, superando así las limitaciones de otros métodos como el Protocolo de Tiempo en Red (NTP). Este perfil de alta precisión ha sido usado y aceptado en variadas áreas industriales y científicas; juega un rol grande en las redes de comunicaciones y los sistemas automáticos (Girela-López, 2020).

La aplicación de PTP en sistemas de radar que funcionan con software muestra la importancia de la exactitud del protocolo en usos de sincronización de eventos. Estudios recientes han mostrado que un hardware especial junto a PTP puede hacer más sencillo la sincronización del tiempo entre equipos, lo que resulta en una red que se adapta a muchos ajustes. En especial, la adición de algoritmos que manejan los desfases de frecuencia ha mejorado la precisión de las redes que utilizan IEEE 1588; este cambio aumenta su uso en entornos industriales actuales (Li Q. Z., 2024), (Crespi, 2024).

Para culminar, usar el estándar IEEE 1588 en muchos tipos de cosas muestra su gran rol en la tecnología de hoy. A medida que hay nuevos usos y formas de tecnología que necesitan buena sincronización y fiable, PTP seguirá siendo parte clave de hacer sistemas que están separados (Li F. L., 2023), (Gamage, 2024).

### **2.6.5. ISA-95 (IEC 62264) – Integración de sistemas de control y sistemas de gestión.**

La unión entre sistemas de manejo deja alinear mejor los procesos clave, tanto para estrategia, como para táctica y función, dentro de una empresa. Vera (2020) dice que “Las empresas buscando la unidad deben pensar en su rumbo y decisión del grado correcto de integración basándose en los beneficios que esperan”. Esto abarca no solo unir los sistemas actuales, sino también alinear los procesos relacionados y mejorar la comunicación y eficiencia dentro de la organización.

Además, se ha encontrado que el uso de sistemas integrados de gestión (SIG) baja las repeticiones y los gastos. Parra (2021) señala que estas integraciones pueden mejorar la motivación de los empleados, pero también reconocen los problemas relacionados con la burocracia. Mediante Becerra (2021) realizaron un análisis bibliométrico de los modelos SIG y demostraron que estos métodos de integración mejoran la transparencia y la fluidez de la gestión de procesos tanto en pequeñas como en grandes empresas.

## **2.7. Automatización de Procesos.**

### **2.7.1. Sistema de clasificación de control Automático.**

El sistema de clasificación se hace con un contenedor de reciclaje inteligente hecho para alcanzar metas específicas y requisitos, haciendo así más eficaz la gestión de residuos. Estas metas pueden tener características clave que una herramienta futura debería tener, como buen clasificar residuos, procesar en tiempo real y una interfaz fácil de usar. Los sensores, que pueden incluir cámara para tomar fotos, sensor de peso para contar basura y uno corto para detectar, están programados para encajar bien (Sontakke, 2024).

La decisión parte de elegir el microchip o procesador correcto para manejar los

datos que envían los sensores, hacer cualquier trabajo necesario, controlar las funciones principales del sistema e interactuar con otras cosas o redes. La etapa en esto es crear algoritmos y software buenos que ayuden a tomar datos rápido y hacer preparación de los sensores que están dentro.

El sistema se sostiene en el crecimiento y enseñanza de un sistema de aprendizaje profundo, como una red neuronal convencional (CNN), que encuentra clases de basura desde las entradas de los sensores. Para esto es muy importante hacer un grupo de datos marcados con dibujos de diversos tipos de residuos que servirán para enseñar y comprobar al modelo. Cuando se depositan residuos en el contenedor, el sistema gestiona de manera óptima los datos sensoriales y realiza la clasificación de forma precisa y oportuna (Sontakke, 2024).

A continuación, un cuadro comparativo de control manual y control automático:

**Tabla 2. 2** Limitaciones del sistema de control manual con relación al automático.

Control Manual	Control Automático
<ul style="list-style-type: none"> <li>- El control de procesos manual no es muy confiable ya que depende continuamente de la intervención del operario.</li> <li>- El tiempo de respuesta del control depende de la habilidad del operador. Su intervención se realiza en forma intermitente.</li> <li>- El producto final obtenido no es continuo, en consecuencia, puede llegar a ser no homogéneo.</li> <li>- Por sus características de no ser autorregulable, puede existir la posibilidad de cometer errores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El control de proceso automático no requiere la intervención continua del operario, solamente para nuevos ajustes esporádicos, en caso de ser necesarios.</li> <li>- El tiempo de respuesta es casi instantáneo y continuo.</li> <li>- El producto final obtenido es continuo, y homogéneo.</li> <li>- Auto regulable por efecto de la reacción constante para la cual fue diseñado.</li> <li>- Luego de iniciado el funcionamiento, la posibilidad de error es remota.</li> </ul>

**Nota:** Tabla comparativa del Control Manual vs Control Automático.

**Fuente:** (Solé, 2011).

### 2.7.2. Potencia Eléctrica.

Cuando los sistemas electrónicos funcionan, requieren energía. Para determinar su consumo energético, primero debe determinar el consumo de cada componente. Para ello, utilice la fórmula de potencia eléctrica; consultar la Ecuación 1.

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1)$$

La fórmula anterior se usa para hallar la potencia eléctrica; así que, el uso de energía del sistema. La unidad de energía eléctrica es el vatio (W); pero, por mucha energía que hoy se gasta, suele decirse en kilovatios (kW). La energía eléctrica (P) en la fórmula es igual al producto del voltaje (V) por la corriente (A) (Martinez, 2023).

### 2.7.3. Vida útil de baterías.

Vida útil de la batería según Martínez (2023), para saber cuánto dura la energía que da una batería, es proporcional al gasto de energía de la máquina o dispositivo que usa esa batería. Primero, se debe calcular la energía total usada por el sistema en vatios

(W). También es importante saber la capacidad de la batería o la cantidad de energía que brinda en vatios/hora (W/h). Luego, se divide la energía dada por la batería entre lo que gasta el sistema, véase la fórmula 2.

$$Tb = \frac{Pb}{Pc} \dots\dots\dots (2)$$

**2.7.4. Determinación de distancias mediante ondas.**

Para saber lo lejos que está el sonido o luz que sale de muchos tipos de sensores, se usa la fórmula para hallar distancias; véase ecuación 3.

$$d = v \times \frac{t}{2} \dots\dots\dots (3)$$

Dado que la distancia es igual al producto de la velocidad por el tiempo, determinar la distancia mediante ondas emitidas por un sensor requiere determinar la velocidad de la onda. En el caso específico del ultrasonido, la velocidad del sonido es de 344 metros por segundo; en otro caso, hablando de luz, de la energía, la velocidad que representada por la distancia de la luz en recorrer a un determinado tiempo es 300.000 kilómetros por segundo. Dado que un sensor tiene un transmisor y un receptor, es posible determinar el tiempo que tarda una onda o rayo en emitirse y recibirse, ya que, en ambos casos, la onda o el rayo regresa tras incidir en un objeto (Martinez, 2023).

**2.7.5. Detección de Residuos Metálicos.**

Actualmente se utilizan diversos métodos para detectar residuos sólidos metálicos, como los sensores de carácter inductivo. La Figura 2.4 muestra un ejemplo de un sensor de este tipo. Estos sensores pueden detectar la presencia de objetos metálicos sin contacto físico. Una forma de clasificar los sensores inductivos es según su funcionamiento, de oscilación de alta frecuencia, magnético con uso de imán, y de aprovechamiento de variaciones eléctricas (Keyence, 2025).

**Figura 2. 4** Sensor Inductivo LJ12A3-4-Z/BX.



**Fuente:** Recopilado de la Web Tecmikro Ecuador.

De acuerdo con Martínez (2023), el principio de funcionamiento que emplean los sensores inductivos en general es similar, se crea un campo magnético mediante una bobina en el sistema de oscilación, y al momento de aproximar un objeto metálico se crea un flujo de corriente de inducción, por la inducción electromagnética.

#### **2.7.6. Detección de Residuos Orgánicos.**

Al procesar residuos orgánicos, algunas características son particularmente prominentes, como la generación de gases, principalmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ). Los sensores MQ (también conocidos como sensores de gas) pueden detectar específicamente estos gases. Los sensores MQ están diseñados para detectar diferentes tipos de componentes químicos en el aire. Existen muchos tipos de estos sensores, cada uno dirigido a una sustancia distinta, la Figura 2.5 muestra un ejemplo (Diaz Colorado, 2018).

**Figura 2. 5** Sensor MQ-02 que percibe gas.



**Fuente:** Recopilado de la Web STEMPedia.

Los sensores MQ están compuesto de un sensor electroquímico que al estar en

contacto con alguna sustancia específica tiende a variar su resistencia, esta variación de voltaje se puede convertir a una señal para analizar y determinar el nivel de presencia de la sustancia. Estos sensores disponen de un calentador el cual se emplea para que sus mismos materiales adquieran una mayor sensibilidad al incrementar la temperatura. En la Tabla 3 a continuación se enumeran los modelos de sensores MQ más comunes disponibles comercialmente junto con los gases que detectan cada sensor y otras características (Llamas, 2020).

**Tabla 2. 3** Lista de Modelos del Sensor MQ.

SENSO R	VOLTAJE DE CALEFACTOR	S. DETECTADAS
MQ-2	5V	METANO
		BUTANO
		GLP
		HUMO
MQ-3	5V	ALCOHOL
MQ-303A	0.9V	ETANOL
		HUMO
		METANO
MQ-4	5V	METANO
		GAS NATURAL
MQ-5	5V	GAS NATURAL
		GLP
MQ-6	5V	BUTANO
		GLP
MQ-306A	5V	BUTANO
		GLP
MQ-7	ALTERNADO 5V Y 1.4V	CO
MQ-307A	ALTERNADO 0.2V Y 0.9V	CO
MQ-8	5V	HIDROGENO
MQ-9	ALTERNADO 5V Y 1.5V	GASES INFLAMABLES
		CO
MQ-309A	ALTERNADO 0.2V Y 0.9V	GASES INFLAMABLES

			CO
131	MQ-	6V	OZONO
135	MQ-	5V	BENCENO
			ALCOHOL
			HUMO
			CALIDAD DE AIRE
136	MQ-	5V	ÁCIDO SULFHÍDRICO
137	MQ-	5V	AMONICO
138	MQ-	5V	BENCENO
			TOLUENO
			ALCOHOL
			ACETONA
214	MQ-	5V	METANO
			GAS NATURAL
216	MQ-	6V	GAS NATURAL
			GAS CARBONO
811	MQ-	6V	CO2
104	AQ-	6V	CALIDAD DE AIRE
	AQ-2	6V	GASES INFLAMABLES
	AQ-3	6V	HUMO
			ALCOHOL
	AQ-7	6V	BENCENO
			CO

**Nota:** “CO: monóxido de carbono; CO2: monóxido de carbono; GLP: gas licuado de petróleo; V: volts”. **Fuente:** (Gara, 2020).

### 2.7.7. Identificación de Residuos Plásticos.

La identificación de residuos plásticos (como contenedores de plástico, botellas, bolsas, etc.) puede usarse con sensores que sienten un tipo especial de energía eléctrica. En la figura 2.4 se muestran más detalles. Estos sensores son buenos para hallar cosas pequeñas y con gran exactitud.

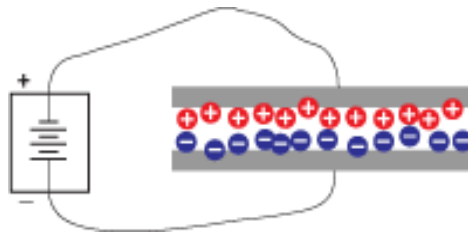
**Figura 2. 6** Sensor capacitivo LJC18A3-10-Z/BY.



**Fuente:** Recopilado de la Web i2c Electrónica.

El principio de funcionamiento de un sensor capacitivo es simple y se basa en el condensador de placas ideal. Se puede describir como dos placas conductoras separadas por un espacio. Al aplicar un voltaje, se genera un campo eléctrico entre las placas, como se muestra en la Figura 2.5. Si un objeto entra en el campo eléctrico, la distancia entre las placas cambia, y este cambio puede detectarse y medirse (Lion Precision, 2025).

**Figura 2. 7** Principio de condensador de placa ideal.



**Fuente:** Recopilado de la Web Lion Precision.

Cuando un sensor capacitivo nota algo, se junta una cierta cantidad de carga ( $Q$ ) en las placas. El sensor toma la capacitancia ( $C$ ), que es la unión entre el voltaje ( $V$ ) que se crea en las placas y cuánta carga hay. Esto se enseña en la fórmula (a) (Lion Precision, 2025).

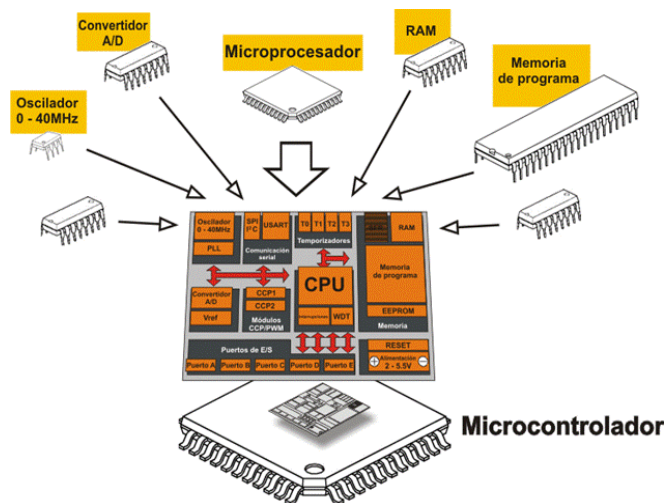
$$C = \frac{Q}{V} \dots \dots \dots (a)$$

## 2.8. Componentes del sistema.

### 2.8.1. Microcontroladores.

Un chip que se puede programar o hacer lo que el usuario decide es un microcontrolador. Esta parte de un sistema tiene tres componentes: una parte principal para ver y hacer programas; una parte donde se guarda información breve, llamada memoria RAM; y partes que permiten la entrada y salida de datos para obtener información y dar órdenes o acciones (figura 2.8) (Dr. E-Marmolejo, 2025).

**Figura 2. 8** Estructura total de un Microcontrolador.



**Fuente:** Recopilado de Arquitectura de microcontroladores por Marín Ossa.

Entre los microcontroladores más utilizados en nuestro medio se encuentran:

- ARDUINO
- PIC
- PLC
- ATmega
- FPGA

### 2.8.2. Detectores y Captadores.

Para los sistemas automatizados se requieren sensores que sean capaces de detectar factores ambientales para posteriormente procesar la información obtenida (Bustos, 2025).

Estos transductores se pueden clasificar en 3 tipos según la respuesta que suministran al detectar una determinada información, en la Tabla 2.4 se observa esta clasificación y un ejemplo de cada tipo.

**Tabla 2. 4** Clasificación de los transductores

Transductores todo o nada
Son los que dan una señal clara binaria. Un ejemplo de este tipo es: los finales de carrera.
Transductores numéricos
Estos codificadores envían valores numéricos como grupos de ceros y unos. Un ejemplo del transductor son los codificadores.
Transductores analógicos
Son aquellos que dan una señal constante la cual muestra el cambio de la cantidad física que se mide. Un ejemplo es el sensor de calor.

**Fuente:** Adaptado de la página web de AIESA.

### 2.8.3. Actuadores y Pre-actuadores.

El actuador es el dispositivo final del proceso de control, ya que se basa en las señales de comando recibidas de diversos sensores. El controlador mostrará las tareas programadas en el actuador o la variable de proceso (Bustos, 2025).

En la Figura 2.9 se describe su funcionamiento, clasificación y los accionadores más utilizados en la industria de automatización.

**Figura 2. 9** Accionadores.



**Fuente:** (Martinez, 2023).

“Los Pre-actuadores tienen una unidad de mando, la cual se encarga de conmutar las diversas conexiones de existen dentro de los cables o conductores del circuito de potencia, ya sean estas conexiones eléctricas, neumáticas o hidráulicas” (Bustos, 2025).

#### **2.8.4. Lenguaje de Programación**

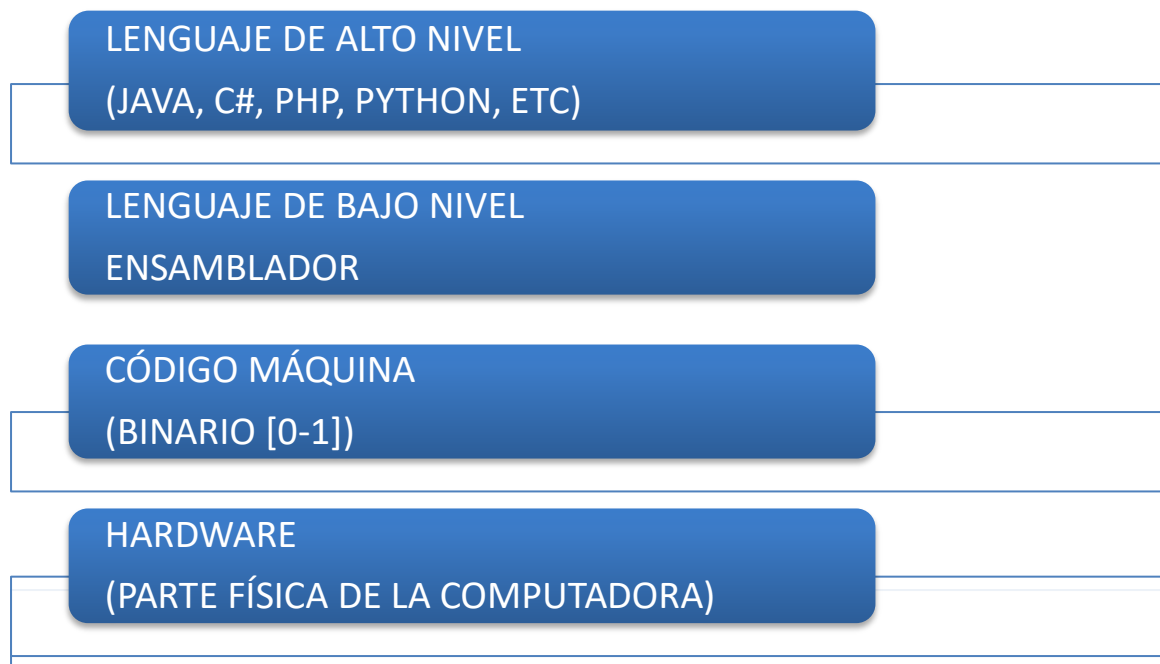
El lenguaje de programación es el lenguaje que permite a un programador poder escribir una serie de instrucciones, las cuales serán realizadas por un computador, procesador o controlador (Martinez, 2023).

Entre los lenguajes de programación más utilizados en nuestro medio se encuentran:

- C#
- C++

- PHP
- Matlab
- Python
- Java
- Java Sc

**Figura 2. 10** Alto nivel – Bajo nivel programación - Código maquina



**Fuente:** (Gervasio, 20

## **2.9. Conceptos estándar de un sistema de recolección.**

### **1. Recolección:**

El proceso de volver a usar cosas empieza con llevar cosas que pueden ser usadas otra vez. Esto se hace mediante contenedores para reciclar en comunidades, programas donde recogen en casa, lugares donde la gente lleva lo que usamos o centros para reciclar. La recolección es una etapa importante al principio del proceso de selección, donde los desperdicios empiezan a ser recursos. Esta fase no solo incluye la recuperación física de los objetos tirados, sino también crea un buen plan para usar bien los recursos y reducir mucho la sociedad del medio ambiente. Usar buenos lugares para manejar lo que queda es bastante necesario para lograr éxito durante el momento de recolectar. Esto puede incluir el poner cajas para el reciclaje en lugares importantes y en espacios públicos; hacer programas donde se junta lo que sobra en las casas y también tener puntos para llevar cosas a un lugar cercano. Además, hacer sistemas para recoger cosas distintas ayuda a separar los materiales en su origen, lo cual facilita trabajo y su reciclaje (Brizuela, 2025).

### **2. Clasificación:**

Después de la junta, los materiales reciclables van a plantas recicladoras donde se ponen en orden. En esta parte, se separan los distintos tipos de elementos (como papel, plástico, cristales, metales, etc.) para hacer más fácil su procesamiento.

### **3. Trituración y limpieza:**

Una vez ordenados, los materiales que se reciclan pasan por procesos de rotura y limpieza; esto quita cosas malas como etiquetas, pedazos de comida. Ayuda a preparar bien los materiales para su uso que dará dentro poco.

### **4. Procesamiento:**

Los materiales limpios y rotos se mezclan según que son. Por ejemplo, el papel

y el cartón se juntan con agua para hacer una pasta; esta pasta se puede usar para hacer cosas nuevas de papel. El plástico se derrite y se hace en bolitas, que se pueden usar para hacer varias cosas plásticas. De la misma manera pasa con los otros tipos.

#### **5. Fabricación de nuevos productos:**

Los materiales reciclados procesados se emplean para crear nuevos productos. Por ejemplo, el papel reciclado puede transformarse en papel de embalaje, y el plástico reciclado puede convertirse en botellas, envases u otros productos plásticos.

#### **6. Venta y distribución:**

Los nuevos productos fabricados con materiales reciclados se venden y distribuyen en el mercado para su uso por parte de los consumidores. El reciclaje es una herramienta indispensable en la lucha contra la contaminación ambiental y para la gestión sostenible de los recursos naturales (Brizuela, 2025).

En la búsqueda de trabajos que usan tecnología para clasificar residuos, hay un estudio que crea un sistema de distinción de basura con una cinta que se mueve. La parte primera es el área de mirar, donde por medio de cámaras térmicas, se toman fotos para descubrir qué tipo de objetos son y dónde están. La parte dos es la zona de manejo, donde un robot con seis grados de libertad se emplea con lo aprendido antes, sigue una regla que decide cómo moverse correctamente para recoger cada desecho. Así, el acto de clasificar se hace de una manera muy exacta, analítica y rápida (Brizuela, 2025).

#### **Conceptos Clave:**

Clasificación de residuos industriales, Valorización de residuos, Automatización de procesos, Sensores, Actuadores, Economía circular, Reciclaje, Reutilización, Gestión sostenible, Sistemas de control.

## Capítulo 3: Análisis del Sistema.

### 3.1. Descripción general del sistema clasificador.

El presente trabajo tiene como objetivo la creación de un sistema de recolección automatizado para la clasificación y valorización de residuos industriales mediante un enfoque conceptual que se ha concebido considerando la disponibilidad de componentes comerciales, la facilidad de integración basado un entorno de simulación y adaptable a la industria.

**Tabla 3. 1** Lista de descripciones de diseño del Clasificador Automático.

ANÁLISIS	DETALLES
<b>Funciones</b>	Separa los diferentes tipos de residuos sólidos en varios recipientes (papel, vidrio, plástico, metal, diseños orgánicos).
<b>Estructuras</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Estructura de reposo.</li><li>• Altura (alrededor de 1,1 metros).</li><li>• Forma común.</li><li>• Capacidad para notar tamaños de residuos hasta 15 x 15 x 40 cm.</li></ul>
<b>Movimientos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• La velocidad de giro es de 60 rpm.</li><li>• Puede moverse de forma fija para una buena clasificación y distribución en los contenedores correctos.</li></ul>
<b>Fuerza y soportes</b>	El clasificador debe resistir el peso de los residuos al clasificar.
<b>Alimentación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Se necesita una potencia de 5 voltios CC para aparatos electrónicos.</li><li>• Se requiere una salida de 6 V CC para dispositivos electrónicos.</li><li>• Se requiere una salida de 12 voltios CC para actuadores.</li></ul>
<b>Materiales</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hecho con cosas que no estorban la detección de basura.</li><li>• Fuerte ante peso de máquinas.</li><li>• Resistencia a climas adversos</li></ul>

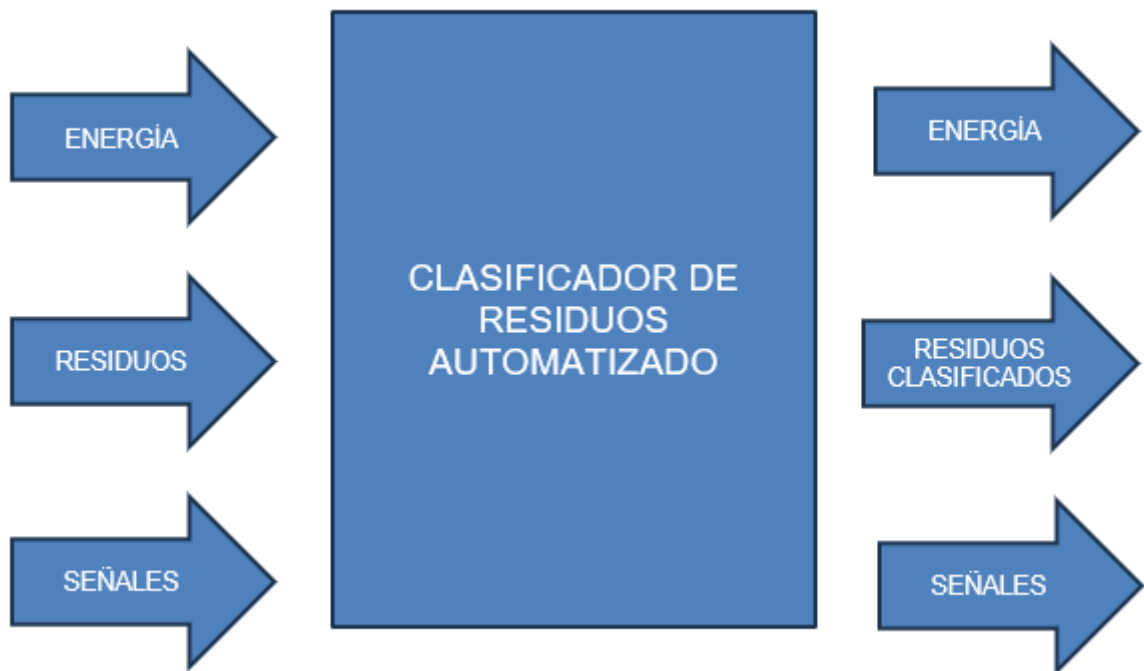
<b>Indicadores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contar con indicadores de funcionamiento.</li> <li>• Contar con indicadores de los contenedores, para saber cuándo están llenos.</li> </ul>
<b>Control Y Electrónica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe ser capaz de identificar el peso de los diversos residuos.</li> <li>• Debe ser capaz de diferenciar cada clase de residuos. (Orgánicos, papeles, metales, vidrios, plásticos).</li> <li>• Capacidad de reconocimiento del residuo a corta distancia.</li> <li>• Debe contar con unas frecuencias de respuesta alta.</li> <li>• Debe ser de reducido tamaño.</li> <li>• Debe haber un control del nivel para cada contenedor.</li> <li>• El traslado del residuo sólido de la cabina de censado al contenedor correspondiente debe ser automático.</li> </ul>
<b>Software</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La optimización del proceso debe ser implementada a través de un software de programación.</li> </ul>
<b>Comunicaciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso de una interfaz básica que sea amigable e intuitiva.</li> </ul>
<b>Seguridades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de nivel en los contenedores, para impedir el mal funcionamiento del sistema por un exceso de residuos en algún contenedor.</li> <li>• Indicador de funcionamiento del clasificador.</li> <li>• Protección para impedir que el encargado sufra daños mientras retira los residuos sólidos clasificados.</li> </ul>

**Nota:** Modelo de lista de exigencias adaptado de la norma VDI 2206. **Fuente:** Elaborado por Autor.

### 3.1.1. Entradas y salidas del sistema.

Con el fin de precisar la manera en la que opera el clasificador automático, previamente se hace un diagrama de bloques, cuyo objetivo es clarificar las magnitudes de entrada y de salida del sistema, se puede observar en la Figura 3.1.

**Figura 3. 1** Entradas y salidas del clasificador de residuos.



**Nota:** Adaptado de la norma VDI 2206. **Fuente:** Elaborado por Aut

## **ENTRADAS:**

### **Energía:**

- Energía eléctrica: para hacer funcionar el clasificador, la cual es suministrada por el controlador y las partes que este requiere.
- Energías Mecánicas con el fin de desplazar el rodillo recolector de los desechos sólidos.
- La energía de las personas para poner en marcha el dispositivo.

### **Desechos Sólidos:**

- Vidrio, Papeles, Metales, Plásticos.

### **Desechos orgánicos:**

- Señales.
- Alerta por parte de la máquina.
- Alerta debido a los sensores.

## **SALIDAS:**

### **Energía:**

- Energía sonora, térmica y resplandeciente.
- Clasificador de residuos: Todos los desechos en su recipiente.
- Señales: Alerta para los propulsores, el motor y los diodos led.

### **3.1.2. Estructura de procesos.**

La totalidad de las tareas que ejecutara el sistema se agruparon en 3 áreas mayores: mecánica, electrónica y control.

### **Estructura Mecánica:**

- Debe generar movimiento.
- Movilización del residuo.

### Estructura Electrónica:

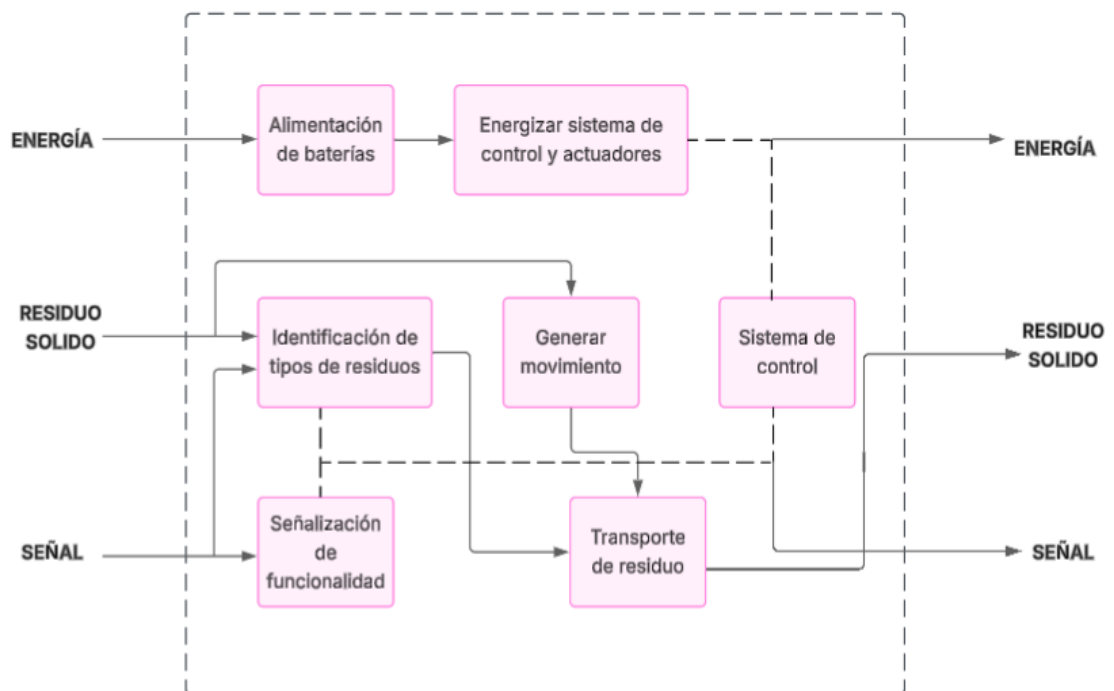
- Carga de baterías.
- Alimentar el sistema de propulsión y sensores.
- Clasificación de desechos.
- Indicación de funcionalidad.

### Control:

- Sistema de control.

En la medida en la que se identifican las tareas que se esperan que realicen cada subsistema, se genera un diagrama de funciones como ayuda para la visualización de la interrelación entre las funciones. Luego, se muestra el diagrama de las operaciones en la figura 3.2.

**Figura 3. 2** Diagrama de bloques de funciones del Clasificador de residuos.



**Nota:** Adaptado de la Norma VDI 2206. **Fuente:** Elaborado por Autor.

- **El suministro de energía:**

Esta habilidad se dedica a captar energía y dar corriente eléctrica a la pila del sistema; También, si no hay pilas, se encarga de dar energía a los motores y partes electrónicas del clasificador automático.

- **Energizar el sistema de propulsión y control:**

Esta función se cumple al energizar la totalidad de actuadores, además de los componentes electrónicos y eléctricos del sistema; de esta manera se activa el identificador automático.

- **Producir algún movimiento:**

Esta mano de obra es la que hace que el aparato funcione con algún tipo de propulsor.

- **Clasificación de desechos:**

Esta actividad se enfoca de distinguir adecuadamente los desechos solidarios que llegan al clasificador para luego elegirlos, esta actividad es posible gracias a diversas maneras de distinguir y elegir.

- **Trasporte de desechos:**

La función que tiene el transportador de desechos es de suma importancia la priorización de este para luego trasladarlo al recipiente adecuado.

- **Indicación de utilidad:**

Al ser un aparato cerrado requiere de un sistema de señales para exhibir si el clasificador se encuentra en uso, además para enseñar si algún recipiente ya está casi lleno.

- **Control:**

El sistema de control es la capacidad que tiene de manejar todos los actuadores y elementos del sistema, estos tienen que recibir señales de entrada de basura,

analizarlas y enviar una señal de salida.

### **3.2. Requerimientos del sistema**

El modelo del sistema maquina para la clasificación y valoración de residuos industriales debe seguir un número de reglas que garanticen su buen funcionamiento y viabilidad en situaciones reales de uso. Estas exigencias se separan en funcional y no funcional, para cubrir tanto las hazañas operativas como condiciones de desempeño, seguridad y mantenimiento

#### **3.2.1. Requerimientos funcionales.**

Los requerimientos funcionales señalan las acciones y métodos que el sistema debe hacer para cumplir su objetivo principal: la clasificación rápida de desperdicios industriales. Entre ellos están:

##### **1. Clasificación de residuos sólidos por tipo de material.**

El sistema tiene que poder ver y dividir restos en grupos específicos, tales como:

- Restos orgánicos.
- Plásticos.
- Metales.
- Papel y cartón.
- Vidrio.

##### **2. Detección de tipo de residuo mediante sensores.**

El sistema deberá alertar cuando los contenedores estén llenos, permitiendo un vacío rápido y manteniendo la limpieza; debe registrar el tiempo entre alertas. Incorporación de sensores inductivos, capacitivos, de gas y ultrasonidos para las propiedades físicas y químicas de cada resto. Cada sensor debe estar calibrado para captar su material objetivo con un margen de error mínimo.

### **3. Conteo automático de residuos procesados.**

El sistema deberá registrar la cantidad de restos clasificados por tipos, guardar esta información en una base de datos o memoria dentro para examinarla posteriormente.

### **4. Alerta de llenado de contenedores.**

El sistema debe advertir cuando los recipientes llegan a su límite permitiendo el vaciamiento rápido y manteniendo el clasificador limpio; El diseño de un sistema que avise cuando un cubo de basura esté lleno o haga ruido, para así evitar que se derrame y haya problemas con su uso.

### **5. Transportar la basura hasta el contenedor correcto.**

Emplear máquinas (bandas transportadoras, brazos mecánicos o puertas) para garantizar que cada tipo de desperdicio llegue bien al recipiente que le corresponde.

### **3.2.2. Requerimientos no funcionales.**

Los requerimientos no funcionales establecen las condiciones bajo las cuales un sistema a debe funcionar para asegurar un mejor rendimiento, durabilidad y fácil uso. Entre ellos están:

#### **1. Bajo consumo energético.**

El sistema debe hacer mejor el uso de energía, empleando componentes de alta eficiencia y formas de trabajo que amenoran el uso cuando no se encuentran residuos en proceso.

#### **2. Precisión en la clasificación.**

El margen de error en la identificación y separación de residuos debe ser bajo para asegurar la fiabilidad del sistema y evitar contaminación cruzada entre materiales.

### **3. Resistencia ante condiciones ambientales.**

La estructura electrónica debe estar protegida contra polvo, humedad, temblores y cambios de temperatura.

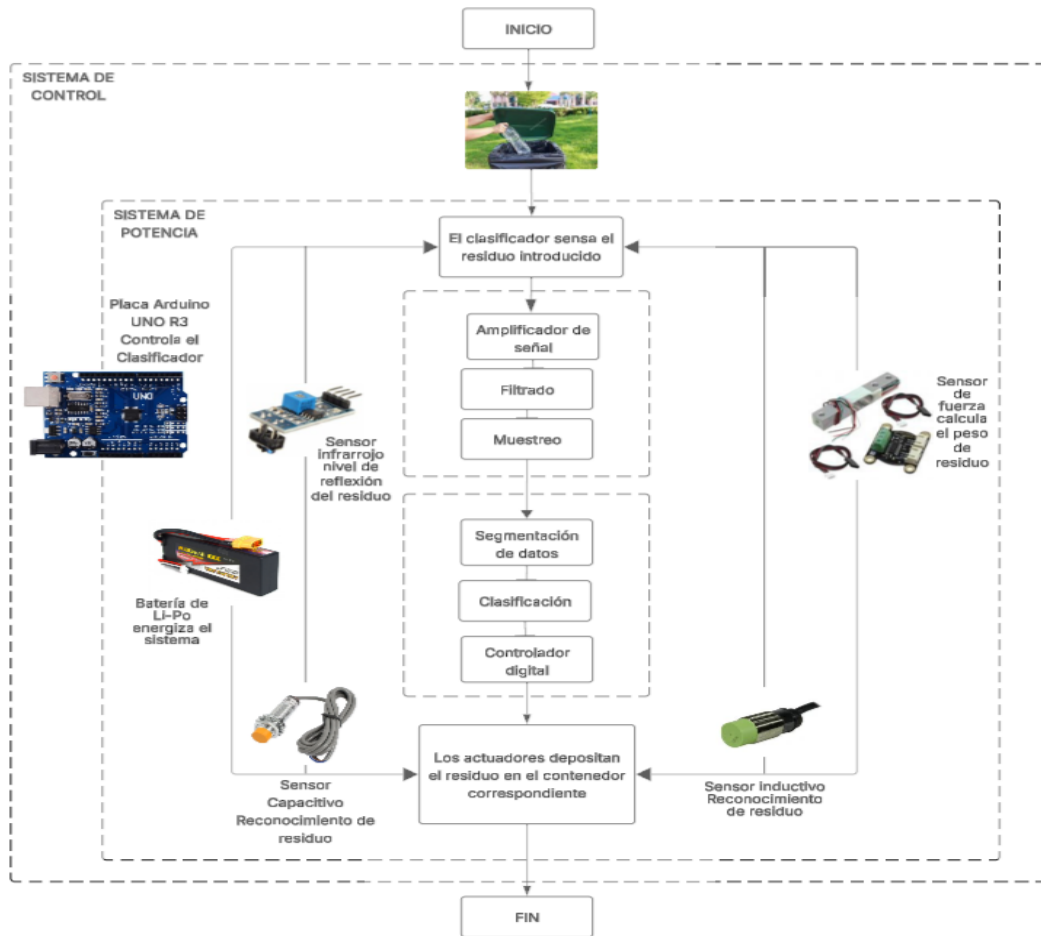
### **4. Seguridad operativa.**

El sistema debe contar con protecciones mecánicas y eléctricas que eviten accidentes al operario, así como mecanismos de parada de emergencia y aislamiento eléctrico.

### **3.3. Diseño conceptual del sistema.**

El diseño conceptual del sistema que clasifica y valora los residuos industriales define la forma general, las partes que funcionan y su manera de conectarse. Es necesario colocar una herramienta que ayude a entender cómo se unen los diferentes sistemas individuales, el sistema de control y el sistema de potencia, para eso en la imagen 3.3 se muestra el diseño mecatrónico del clasificador automático.

**Figura 3. 3** Diseño mecatrónico del Clasificador Automático.



**Fuente:** Elaborado por autor en plataforma Lucid chart.

### 3.4. Estructura Electrónica.

Según los requisitos que vemos en la Tabla 3.2, se debe elegir partes para identificar todos los tipos de basura, medir el nivel de contenido en cada contenedor, mover y llevar los residuos de forma automática. Con la información dada en la tabla debemos elegir bien qué partes son mejores para agregar.

**Tabla 3. 2** Requerimientos para el diseño electrónico.

Requerimientos	Relevancia
Debe contar con una salida de corriente continua de 5V para alimentar dispositivos electrónicos.	3
Debe disponer de una salida de corriente continua de 12V destinada a actuadores.	2
Incorporar indicadores que muestren el estado de funcionamiento.	9
El clasificador debe ser capaz de soportar hasta 1 kg de peso de residuos sólidos.	6
Debe identificar y diferenciar los distintos tipos de residuos (orgánicos, papel, metales, vidrio, plásticos).	1
Debe tener la capacidad de reconocer el residuo a una distancia corta.	3
Requiere una alta velocidad de respuesta en su funcionamiento.	5
El diseño debe ser compacto y de dimensiones reducidas.	8
Debe integrar un sistema de control del nivel para cada contenedor.	6
El transporte del residuo sólido desde la zona de detección hasta el contenedor correspondiente debe realizarse de forma automática.	4

**Nota:** La relevancia se valora en una escala del 1 al 10, donde 1 indica el requerimiento de mayor importancia y 10 el de menor importancia.




**Fuente:** Elaborado por Autor

### 3.4.1. Determinación de sensores para el reconocimiento de residuos.

- **Sensor Inductivo.**

La Tabla 3.3 a continuación muestra una comparación de diferentes tipos de sensores inductivos.

**Tabla 3.3** Comparación entre modelos de sensores inductivos.

MODELO	Sensor Inductivo PR08-2DP	Sensor Inductivo PR18-5DP	Sensor Inductivo PR30-15DP
Imagen del sensor			
Distancia de detección	2mm	5mm	15mm
Velocidad de respuesta	1 KHz	500 KHz	200 KHz
Dimensiones objetivo estándar	8 × 8 × 1 mm	18 × 18 × 1 mm	45 × 45 × 1 mm
Sensor seleccionado	x	x	✓

**Nota:** Datos tomados de los tres sensores inductivos en la web. **Fuente:** Elaborado por Autor.

El sensor de proximidad inductivo PR30-15DP puede detectar objetos metálicos en un rango de 15 mm y se integra fácilmente con un Arduino. Arduino es el microcontrolador para el que está diseñado. Para usarlo, necesita conectar una salida digital al sensor. El sensor puede alimentarse con una fuente de alimentación de 5 V, pero si desea ampliar su rango de detección, puede usar una fuente de alimentación de

12 V o 24 V.

- **Sensor Capacitivo**

A continuación, en la Tabla 3.4 se muestra la comparación entre diferentes modelos de sensores capacitivos.

**Tabla 3. 4** Comparación entre modelos de sensores capacitivos.

MODELO	Sensor Inductivo PR08-2DP	Sensor Inductivo PR18-5DP	Sensor Inductivo PR30-15DP
Imagen del sensor			
Distancia de detección	8mm	15mm	15mm
Velocidad de respuesta	50 KHz	50 KHz	20 KHz
Alimentación energética.	12 a 24 VDC	12 a 24 VDC	100 a 240 VDC
Sensor seleccionado	x	✓	x

**Nota:** Datos tomados de las especificaciones de los tres sensores inductivos en la web. **Fuente:** Elaborado por Autor.

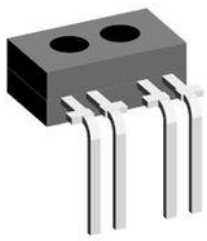
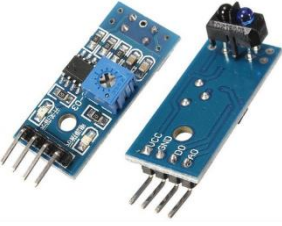
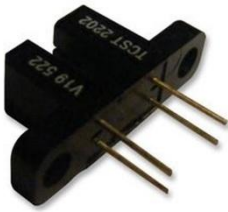
El sensor de proximidad capacitivo CR30-15DP puede detectar objetos metálicos y no metálicos en un rango de 15 mm. Cuenta con una salida digital que puede conectarse a un optoacoplador y, a su vez, a un microcontrolador como un PIC o Arduino. Funciona con una tensión de alimentación de 5 V, pero también puede

alimentarse con 12 V o 24 V para ampliar el rango de detección. Además, cuenta con un indicador LED que se ilumina al detectar un objeto.

- **Sensor infrarrojo**

A continuación, en la Tabla 3.5 se muestra la comparativa entre distintos modelos de sensores ópticos.

**Tabla 3. 5** Comparación entre sensores ópticos

MODELO	Sensor óptico TCRT1010	Sensor óptico TCRT5000	Sensor óptico TCST2202
Imagen del sensor			
Distancia de detección	1mm	2,5mm	0,5m m
Voltaje	5 V	5 V	6 V
Sensor seleccionado	x	✓	x

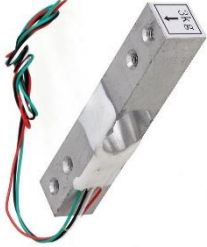


**Nota:** Datos tomados de las especificaciones de los tres sensores ópticos en la web. **Fuente:** Elaborado por Autor.

El sensor infrarrojo TCRT5000 detecta la reflectividad de las superficies mediante la emisión y recepción de luz infrarroja. Cuenta con salidas analógicas y digitales, opera con un voltaje de 3,3 a 5 V y tiene un alcance de detección de hasta 25 mm. Se utiliza habitualmente para la detección de bordes o el trazado de líneas.

- **Sensor de Peso**

La Tabla 3.6 a continuación muestra una comparación de diferentes modelos de sensores de peso.

**Tabla 3. 6** Comparación de sensores de peso

MODELO	Sensor de carga Mini-YZC133	Sensor de peso SEN0160	Sensor de peso DYX-201
Imagen del sensor			
Capacidad	50kg	1kg	20kg
Voltaje de funcionamiento	< 10 V	5 – 15 V	5 – 15 V
Sensibilidad de salida	1,0 ± 0,15 mV/V	1,0±0,1 mV/V	2,0 ± 0,05 mV/V
Sensor seleccionado	x	✓	x

**Nota:** Datos tomados de las especificaciones de los tres sensores de peso en la web.



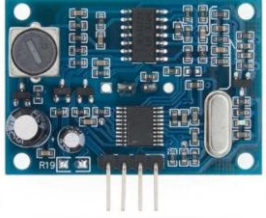
**Fuente:** Elaborado por Autor.

El sensor de peso SEN0160 es una celda de carga capaz de manipular pesos de hasta 1 kg. Este sensor de alta precisión utiliza el circuito integrado HX711, que convierte señales analógicas a digitales de 24 bits. El sensor requiere una tensión de alimentación de 2,6 a 5,5 V y cuenta con un control digital sencillo e interfaces seriales. Determinación de sensor para medir el nivel del contenido.

- **Sensor ultrasónico.**

A continuación, en la Tabla 3.7 se demuestra la comparación entre distintos modelos de sensores ultrasónicos.

**Tabla 3. 7** Comparación entre sensores ultrasónicos.

MODELO	Sensor Ultrasónico HC-SR04	Sensor Ultrasónico US-100	Sensor Ultrasónico JSN-SR04T
Imagen del sensor			
Distancia de detección	2cm -450cm	1,5cm - 450cm	2cm - 450cm
Ángulo de detección	<15°	<20°	<45°
Dimensiones	45 × 20 × 15 mm	45 × 20 × 15 mm	22 × 22 × 10 mm
Resistencia a Líquidos	NO	NO	SI
Sensor seleccionado	x	x	✓

**Nota:** Datos tomados de las especificaciones de los tres sensores ultrasónicos en la web. **Fuente:** Elaborado por Autor.




El sensor HC-SR04 es un sensor de distancia muy económico, que es capaz de medir distancias en un rango de 2cm a 450cm, es de pequeño tamaño. Cuenta con 2 transductores, un emisor y un receptor, ambos piezoeléctricos. Su voltaje de funcionamiento es de 5V tiene una salida para la emisión de la onda ultrasónico y tiene otra salida para la recepción.

### 3.4.2. Determinación de servomotor para las compuertas.

- **Servomotor**

En la Tabla 3.8 a continuación se muestra una comparación de diferentes modelos de servomotores.

**Tabla 3. 8** Comparación de servomotores

MODELO	Servomotor MG995	Servomotor HS-422	Servomotor HS-785HB
Imagen del Servomotor			
Peso	55 g	45,4 g	110 g
Torque	8.5 kg-cm	3.3 kg-cm	11 kg-cm
Velocidad a 4.8v	0,21	0,21	1,68
Selección por utilizar	✓	x	x

**Nota:** Datos tomados de las especificaciones de los tres servomotores en la web.

**Fuente:** Elaborado por Autor.




El servomotor MG995 es un actuador muy robusto, ideal para proyectos de robótica o artrópodos, que ofrece aproximadamente 180° de rotación. Es compatible con varios microcontroladores. Pero, por posibles fallos causados por ruido eléctrico, es mejor usar una fuente de energía externa o una fuente que no esté ligada al microcontrolador. Tiene una fuerza de torque de 14 kg/cm<sup>3</sup> y funciona con un voltaje de 6 V.

### 3.4.3. Determinación del motor.

- **Motor de paso a paso**

La Tabla 3.9 a continuación muestra una comparación de diferentes modelos de motores paso a paso.

**Tabla 3. 9** Comparación de motores paso a paso.

MODELO	Motor paso a paso NEMA14	Motor paso a paso NEMA17	Motor paso a paso NEMA23
Imagen del Motor paso a paso			
Tamaño	35x36 mm	42,3x48mm	56,4 x 56 mm
Torque	1400 g-cm	3.2 kg-cm	9 kg-cm
Peso	180 g	350 g	700 g
Motor por utilizar	x	✓	x

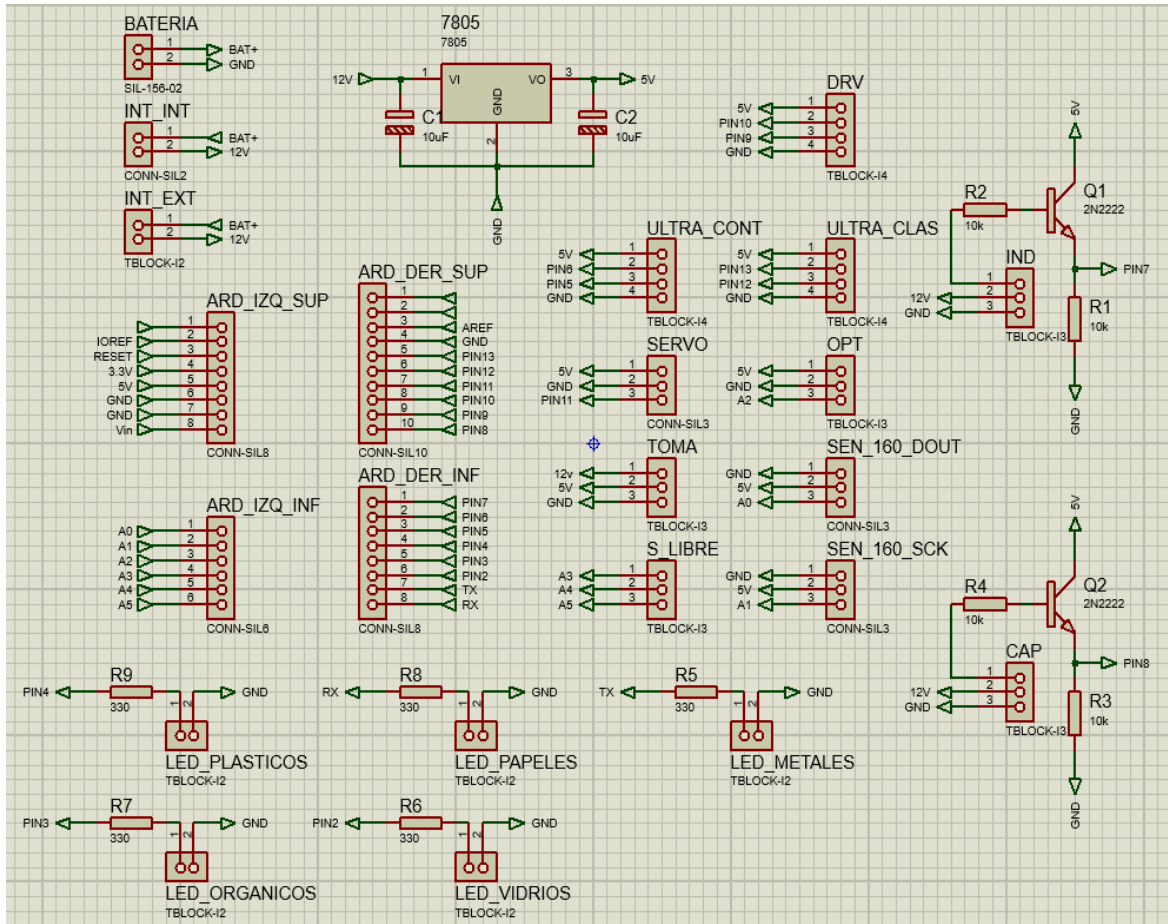
**Nota:** Datos tomados de las especificaciones de los tres motores de paso a paso en la web. **Fuente:** Elaborado por Autor.

Los motores paso a paso NEMA 17 tienen un par nominal de 59 N\*cm, un ángulo de paso de 1,8° y 200 pasos por revolución. Son compactos, fáciles de controlar e implementar, lo que los hace populares en impresoras 3D y aplicaciones CNC.

# Capítulo 4:

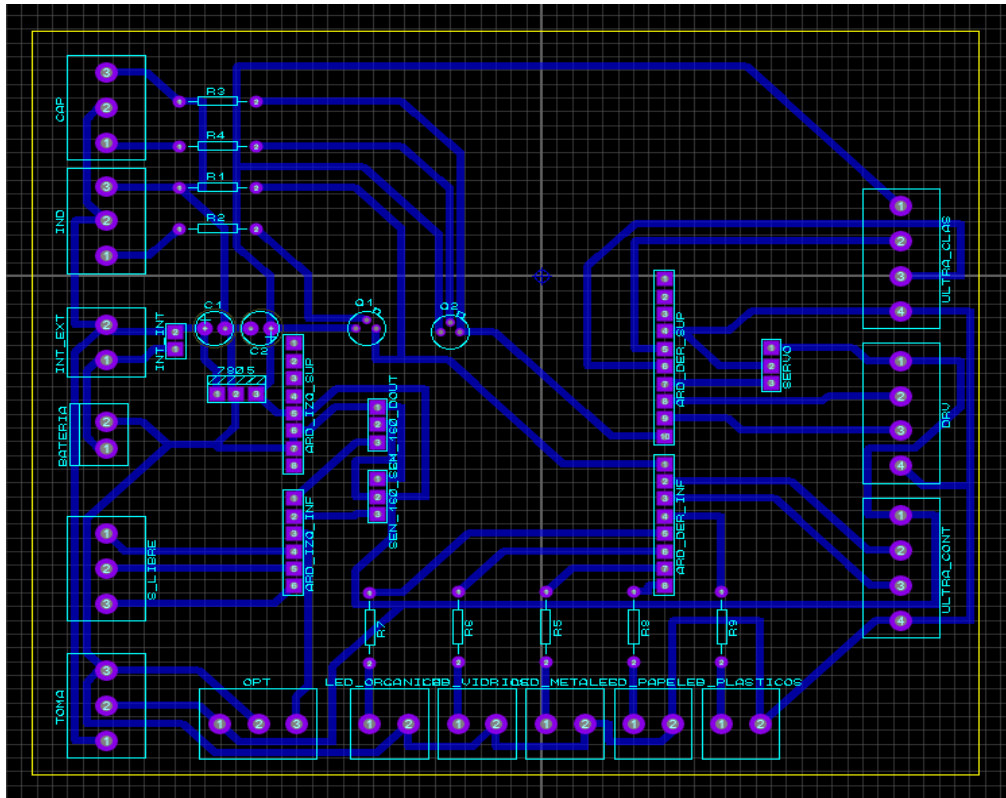
## Desarrollo y Resultados del Sistema Propuesto

**Figura 4. 1** Diagrama electrónico de Clasificador Automático.



**Nota:** Creado mediante el software Proteus 8.13 **Fuente:** Elaborado por Autor.

**Figura 4. 2** Diagrama de la Placa PCB.



**Nota:** Creado mediante el software Proteus 8.13 **Fuente:**  
Elaborado por Autor.

En el diseño 4.1 es posible ver las partes con sus nombres y las uniones que se hicieron desde la entrada de energía que da poder al microcontrolador y se separan tanto a los sensores como actuadores, también mostrando todos los componentes, aparatos, sensores o actuadores que están unidos a cada pin de la placa Arduino para su comunicación y manejo. Y en el diseño PCB de la figura 4.2, se enseña el lugar donde va cada uno de los componentes en la placa, teniendo en cuenta los tamaños de la placa Arduino, haciendo mejor uso del espacio y terminales de los sensores.

#### **4.1.1. Sistema de Control.**

El método automático para clasificar, con una parte que controla, también se hace necesario probar el trabajo que puede realizar para ello se usa el código que está en el microchip que este Arduino UNO R3, esto realizando por medio de la misma plataforma de Arduino. Mira la figura 4.3.

**Figura 4.3** Código de programación del Arduino.

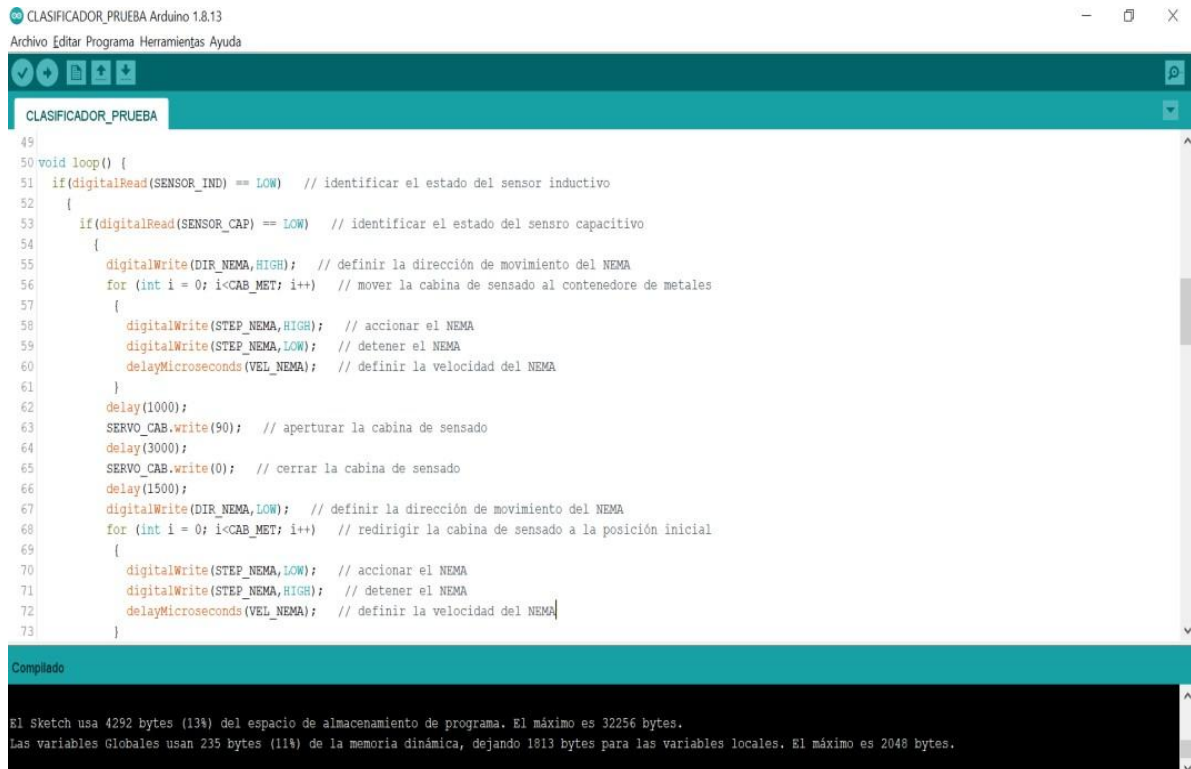


```
CLASIFICADOR_PRUEBA Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
CLASIFICADOR_PRUEBA $
1#include <Servo.h> // libreria de servomotor
2#include <DFRobot_HX711.h> // libreria del sensor de peso
3#define VEL_NEMA 500 // velocidad del NEMA
4
5Servo SERVO_CAB; // definicion del servomotor
6DFRobot_HX711 Myscale(A0, A1); // definicion de pines del sensor de peso
7int SENSOR_OPT = A2; // sensor optico
8int LED_PAPELES = 0; // indicador del cont. de papeles
9int LED_METALES = 1; // indicador del cont. de metales
10int LED_VIDRIOS = 2; // indicador del cont. de vidrios
11int LED_ORGANICOS = 3; // indicador del cont. de organicos
12int LED_PLASTICOS = 4; // indicador del cont. de plasticos
13const int TRIG_CONT = 5; // pin TRIG del sensor ultrasonico del contenedor
14const int ECHO_CONT = 6; // pin ECHO del sensor ultrasonico del contenedor
15int SENSOR_IND = 7; // sensor inductivo
16int SENSOR_CAP = 8; // sensor capacitivo
17const int STEP_NEMA = 9; // paso del NEMA
18const int DIR_NEMA = 10; // dirección del NEMA
19const int TRIG_CLAS = 12; // pin TRIG del sensor ultrasonico del clasificador
20const int ECHO_CLAS = 13; // pin ECHO del sensor ultrasonico del clasificador
21int CAB_PAP = 1000; // posición de la cabian de papeles
22int CAB_MET = 2000; // posición de la cabian de metales
23int CAB_VID = 3000; // posición de la cabian de vidrios
24int CAB_ORG = 4000; // posición de la cabian de orgánicos
25int CAB_PLA = 5000; // posición de la cabian de plasticos
```

**Nota:** Programado en la plataforma de Arduino. **Fuente:** Elaborado por Autor.

El código de programación desarrollado en la plataforma Arduino se carga en el mismo controlador, procesa la información capturada de las entradas de los sensores y, posteriormente, envía la señal a los actuadores o proporciona información sobre el estado del sistema. Para cargar el código, primero es mejor compilarlo; esto nos ayuda a identificar fácilmente cualquier error en la sintaxis del lenguaje de programación. Véase la figura 4.4.

**Figura 4. 4** Compilación de la programación antes de subirlo al Arduino.



```
49
50 void loop() {
51   if(digitalRead(SENSOR_IND) == LOW) // identificar el estado del sensor inductivo
52   {
53     if(digitalRead(SENSOR_CAP) == LOW) // identificar el estado del sensor capacitivo
54     {
55       digitalWrite(DIR_NEMA,HIGH); // definir la dirección de movimiento del NEMA
56       for (int i = 0; i<CAB_MET; i++) // mover la cabina de sensado al contenedore de metales
57       {
58         digitalWrite(STEP_NEMA,HIGH); // accionar el NEMA
59         digitalWrite(STEP_NEMA,LOW); // detener el NEMA
60         delayMicroseconds(VEL_NEMA); // definir la velocidad del NEMA
61       }
62       delay(1000);
63       SERVO_CAB.write(90); // aperturar la cabina de sensado
64       delay(3000);
65       SERVO_CAB.write(0); // cerrar la cabina de sensado
66       delay(1500);
67       digitalWrite(DIR_NEMA,LOW); // definir la dirección de movimiento del NEMA
68       for (int i = 0; i<CAB_MET; i++) // redirigir la cabina de sensado a la posición inicial
69       {
70         digitalWrite(STEP_NEMA,LOW); // accionar el NEMA
71         digitalWrite(STEP_NEMA,HIGH); // detener el NEMA
72         delayMicroseconds(VEL_NEMA); // definir la velocidad del NEMA
73       }
74     }
75   }
76 }
```

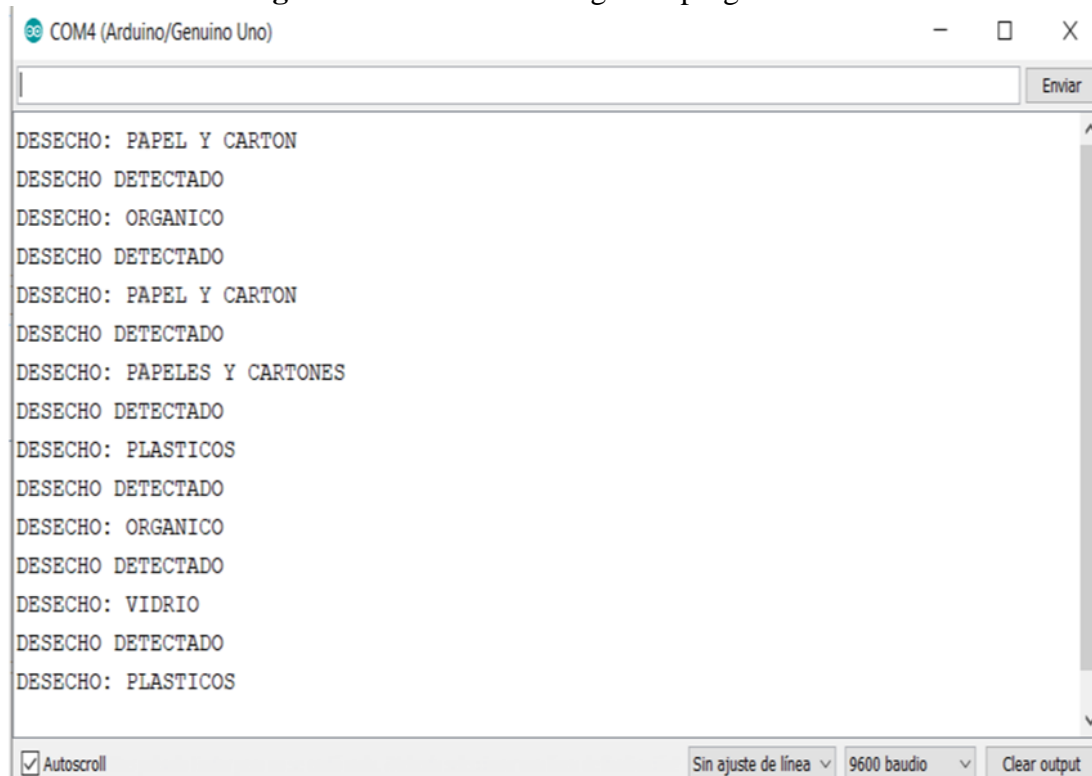
Compilado

El Sketch usa 4292 bytes (13%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32256 bytes.  
Las variables Globales usan 235 bytes (11%) de la memoria dinámica, dejando 1813 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

**Nota:** Programado en la plataforma de Arduino. **Fuente:** Elaborado por autor.

La plataforma Arduino mostrará cualquier error (si lo hay) en la parte inferior. En este caso, dado que todo el código de programación es correcto, no se resaltará nada, solo el uso de memoria. Para verificar el correcto funcionamiento del código, realizamos una prueba que identificó diferentes tipos de residuos y mostramos las lecturas en el monitor serie del software Arduino. Véase la figura 4.5.

**Figura 4.5** Prueba de códigos de programación.



The screenshot shows the Arduino IDE serial monitor window for a COM4 (Arduino/Genuino Uno) port. The window title is "COM4 (Arduino/Genuino Uno)". The main area displays the following text output:

```
DESECHO: PAPEL Y CARTON
DESECHO DETECTADO
DESECHO: ORGANICO
DESECHO DETECTADO
DESECHO: PAPEL Y CARTON
DESECHO DETECTADO
DESECHO: PAPELES Y CARTONES
DESECHO DETECTADO
DESECHO: PLASTICOS
DESECHO DETECTADO
DESECHO: ORGANICO
DESECHO DETECTADO
DESECHO: VIDRIO
DESECHO DETECTADO
DESECHO: PLASTICOS
```

At the bottom of the window, there are controls: a checked "Autoscroll" checkbox, a "Sin ajuste de línea" dropdown menu, a "9600 baudio" dropdown menu, and a "Clear output" button.

**Nota:** Programado en la plataforma de Arduino. **Fuente:** Elaborado por autor.

Como se muestra en la Figura 4.5, cuando los residuos se acercan al sensor, éste es capaz de identificar la categoría a la que pertenecen y mostrarla en el monitor serial del software Arduino.

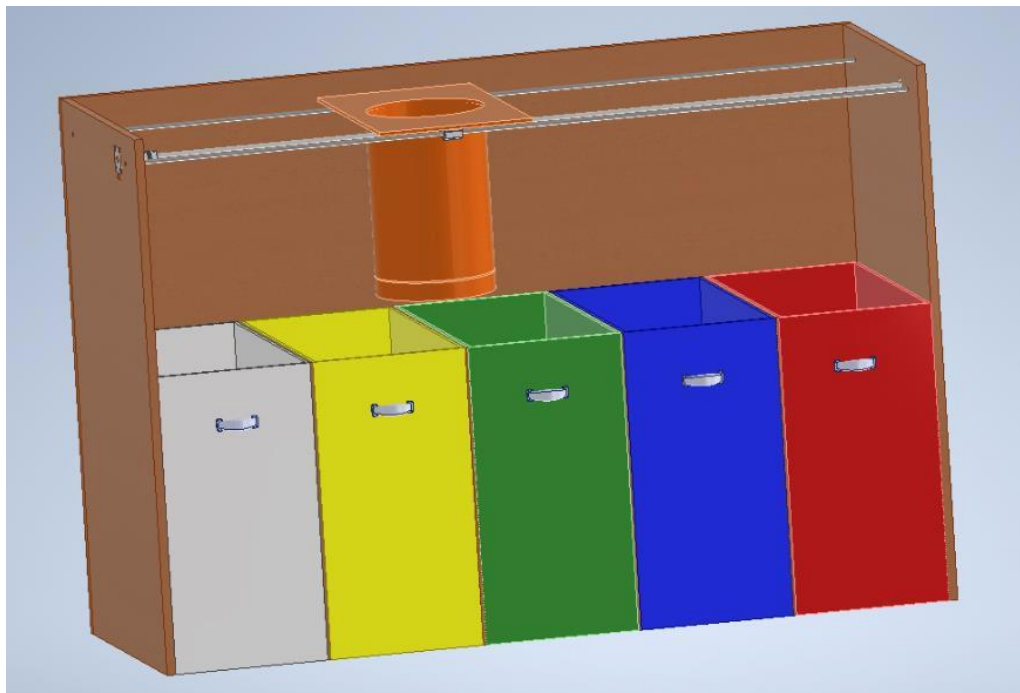
## 4.2. Diseño del prototipo.

Se planteó un diseño escalable para un prototipo físico con las siguientes características:

- Clasificación de cinco tipos de residuos (metálicos, plásticos, orgánicos, papel/cartón y vidrio).
- Alimentación a 12 V para actuadores y 5 V para la parte electrónica.
- Estructura modular con bandejas intercambiables.

En el diseño del prototipo, los motores paso a paso generan el movimiento, y los residuos sólidos se transportarán mediante un sistema de transporte lineal bidireccional equipado con baterías de polímero de litio, que se cargarán con corriente alterna (CA) mediante un transformador. Se utilizarán diversos sensores para identificar cada tipo de residuo sólido. Se utilizarán LED para indicar diferentes estados. El sistema se controlará mediante un microcontrolador Arduino. La Figura 4.7 muestra el diseño concepto de este sistema.

**Figura 4. 6** Concepto de estructura mecánica.



**Nota:** Elaborado por el software Inventor. **Fuente:** Elaborado por Autor.

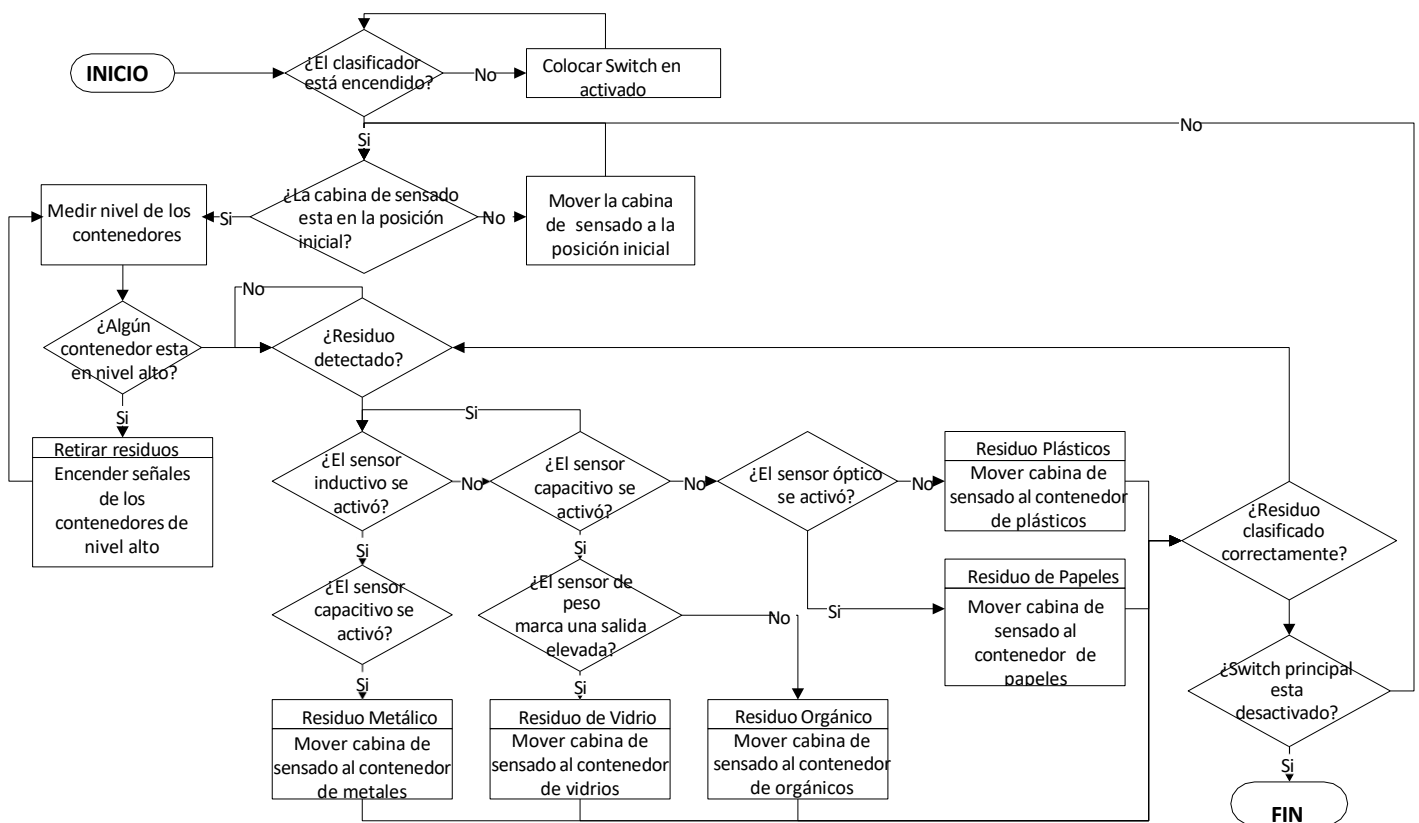
### **4.3. Diagrama de flujo.**

El diagrama de flujo del sistema de clasificación y reciclaje de residuos industriales proporciona una representación gráfica crucial que permite una comprensión clara y estructurada del flujo operativo del prototipo. Este ilustra visualmente las diferentes etapas involucradas, desde la entrada de los residuos en la cinta transportadora, pasando por la detección mediante sensores especializados, hasta el proceso de toma de decisiones del microcontrolador Arduino Mega 2560. Cada bloque del diagrama representa una acción lógica dentro del sistema, ya sea la activación de un sensor, el envío de una señal de control o la apertura de la compuerta del contenedor correspondiente.

La importancia de un diagrama de flujo radica no solo en documentar la secuencia de operaciones de forma ordenada, sino también en ayudar a identificar posibles fallos o redundancias en el proceso, lo cual es crucial durante las fases de simulación y validación del prototipo. Además, sirve como herramienta educativa, ayudando a explicar el funcionamiento del sistema a diversos públicos, desde expertos técnicos hasta usuarios finales, y garantizando que el diseño pueda replicarse, ampliarse o mejorarse en futuras investigaciones.

En este sentido, un diagrama que representa el flujo del proceso sistemático no solo guía el desarrollo del proyecto, sino que también sirve como un recurso indispensable para gestionar eficientemente la automatización y garantizar la coherencia entre el diseño conceptual. Véase la figura 4.7.

**Figura 4. 7** Diagrama de flujo del sistema.



**Fuente:** Elaborado por Autor

#### 4.4. Resultados obtenidos.

Los resultados que tenemos muestran que el sistema automático mejora mucho la eficiencia en el orden de basura de fábrica comparado con maneras humanas.

Agregar sensores y manejo inteligente puede ayudar a mejorar la forma de llevar basura, así como reducir gastos para operar. Aun así, la exactitud con vidrio transparente es necesario mejoras técnicas, tal vez utilizando visión por inteligencia artificial. El sistema, aunque simulado, enseña posibilidad técnica y de costo, y es una forma que crece hacia lugares industriales grandes. Los resultados del sistema simulado se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 4. 1** Resultados de detección de residuos.

Tipo de residuo	Sensor empleado	Precisión estimada	Tiempo de respuesta	Observación
Metálico	Inductivo	98%	0.5 s	Alta fiabilidad.
Plástico	Capacitivo	92%	0.7 s	Puede fallar con materiales muy delgados.
Orgánico	MQ-02	89%	1.2 s	Requiere calibración ambiental.
Papel/cartón	Capacitivo	90%	0.8 s	Buen desempeño.
Vidrio	Inductivo + capacitivo	85%	1.0 s	Dificultad en distinguir vidrio transparente.

**Fuente:** Elaborado por Autor.

Comparación manual vs. automático:

- Sistema manual → precisión promedio del 65%.
- Sistema automático → precisión promedio del 91%.

El estudio de los resultados mostrados en la Tabla 4.1 demuestra la diferencia en la eficacia de los sensores usados para separar residuos industriales. El sensor inductivo logró mejor puntuación, llegando a un 98% en la detección de desperdicios metálicos, haciéndolo parte más fiable del sistema. Esta actuación se entiende por la clase de los materiales metálicos que tienen características electromagnéticas claras y fáciles de encontrar. Por otro lado, el sensor capacitivo, aunque logró buen nivel con plástico y papel o cartón (92% y 90% respectivamente), tiene fallos con materiales muy delgados o de baja constante dieléctrica; esto puede afectar su calidad en lugares más complicados.

El sensor de gas MQ-02, que sirve para encontrar m<sup>h</sup>as orgánicas, tuvo un acierto del 89%, un número razonable si se tiene en cuenta que su trabajo cambia con el tiempo y el aire. Este resultado muestra la necesidad de una calibración constante y un cuidado correcto del medio para asegurar su confianza en usos reales. En el caso del

vidrio, la unión de sensores inductivos y capacitivos logra un 85%, número menor al resto de elementos, lo cual aprueba las fallas que tienen los métodos para hallar residuos que son claros o no muy definidos.

En lo que respecta a términos comparativos, el sistema automático supero mucho al método manual al alcanzar una precisión promedio del 91 por ciento contra el 65 por ciento del trabajo humano. Este análisis comparativo muestra la importancia de la automatización en el manejo de basuras; ya que no solo disminuye errores humanos, sino también hace mejor los ritmos de clasificación y asegura mayor uniformidad en el proceso. De aquí que los resultados apoyan la idea que un sistema automatizado ayuda mucho a mejorar la facilidad y sostenibilidad en el manejo de desechos de las industrias pequeñas y grandes.

## Capítulo 5:

### Análisis Técnico-Económico de Resultados Obtenidos.

#### 5.1. Análisis económico.

El análisis económico mostrado por la Tabla 5.1 muestra que costo total del sistema que se sugiere es cerca de 192 USD, un precio que lo hace una opción barata comparado con otras soluciones industriales que existen en el mercado. Esto es especialmente importante para planes iniciales, escuelas y pequeños negocios donde no es común encontrar muchos recursos y se prefiere tecnologías de bajo costo que sirvan bien. Usar un microcontrolador Arduino Mega 2560 en lugar de controladores industriales más complicados dejó disminuir mucho los gastos sin afectar lo que puede hacer con la integración de múltiples sensors y actuadores.

La selección de sensores también ayudó bien al presupuesto. Los modelos inductivos y capacitivos que se usaron tienen una buena relación precio–valor, pues dan un rendimiento aceptable a los precios que tienen. En cuanto al sensor MQ-02, su costo bajo y facilidad para obtenerlo hacen que sea bueno para hallar lo básico sobre los gases, sin embargo, se sabe que no es el mejor equipo en el negocio. Por otro lado la suma de la banda transportadora y la parte mecánica son lo que más cuestan dentro del desglose de gastos, lo cual era de esperarse por ser físico y constructivo el sistema.

A pesar de estos gastos, el valor total sigue por debajo del tope que está en 200 dólares, lo cual muestra que el plan tiene sentido económicamente y que se puede hacer de nuevo con un presupuesto bastante bajo. Esta razón hace que sea una idea buena para usarse como ejemplos en educación o como base para sistemas más grandes. También, al pensar en la cantidad de tiempo que duran las partes de electrónica y la opción de cambiar solo algunas piezas si fallan, el mantenimiento es fácil y muy barato.

En la vida diaria, la unión entre el dinero y las ganancias es buena, ya que la máquina hace que clasificar sea más rápido en más del 40% sobre el modo a mano, algo que en casos reales puede significar ahorrar tiempo, menos errores humanos y mejor control sobre lo que pasa con el desperdicio. También, el estudio económico no solo demuestra que el sistema es necesario, sino que también apoya la idea de que iniciativas baratas pueden ayudar mucho a cuidar los residuos industriales y a moverse hacia formas de economía circular.

**Tabla 5. 1** Costos referenciales del sistema.

Componente	Cantidad	Precio unitario (USD)	Total (USD)
Arduino Mega 2560	1	25,00	25,00
Sensor inductivo LJ12A3	2	7,50	15,00
Sensor capacitivo LJC18A3	2	8,00	16,00
Sensor MQ-02 (gas)	1	6,00	6,00
Sensor ultrasónico HC-SR04	2	4,00	8,00
Motores DC + driver L298N	2	12,00	24,00
Banda transportadora (maqueta)	1	30,00	30,00
Fuente de alimentación 12 V	1	18,00	18,00
Estructura mecánica	1	50,00	50,00
Total estimado			192,00

**Fuente:** Elaborado por Autor.

El costo del modelo queda por debajo de 200 USD, lo cual es viable. Los datos muestran que el sistema automatizado presentado mejora mucho la eficiencia de clasificación de basura industrial cuando se compara con los métodos manuales. La

unión de sensores y controladores inteligentes puede mejorar la logística de basuras y bajar los gastos diarios.

Sin embargo, la precisión de la clasificación de residuos como el vidrio transparente requiere mejoras tecnológicas, posiblemente logradas mediante inteligencia artificial. Aunque se trata de una simulación, este sistema demuestra su viabilidad técnica y económica y representa una solución escalable adecuada para entornos industriales de mayor tamaño.

## **5.2. Conclusiones.**

- Se logró diseñar un sistema automatizado de clasificación y reciclaje de residuos industriales que logró sus objetivos.
- El sistema alcanzó una precisión promedio del 91%, una mejora del 40% con respecto a la clasificación manual.
- Un análisis de costos demostró que el sistema prototipo es económicamente viable, con una inversión inferior a \$200, y podría ser utilizado por pequeñas y medianas empresas y programas educativos.
- Esta propuesta contribuye al cumplimiento de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2841:2014, promoviendo la gestión adecuada de los residuos sólidos y fomentando una economía circular.

### **5.3. Recomendaciones.**

- Usar sensores más específicos y tecnología de visión por computadora para aumentar la calidad al clasificar vidrios y plásticos claros.
- Plantear el sistema a un modelo real en un lugar de industria y usar un PLC en vez de Arduino para hacer mejor la fiabilidad.
- Adoptar el sistema con una plataforma IoT para poder ver y analizar en tiempo real los restos tratados.
- Plantear en usar energía renovable (paneles solares) para dar poder al sistema y mejorar su sostenibilidad.
- Promover la cooperación entre colegios, empresas y autoridades locales para poner sistemas de clasificación automática en plantas que reciclan y centros urbanos.

## Bibliografía

- Acosta, E. A. (2023). *Estudio bibliográfico sobre la creación de laboratorios de automatización basados en iot para la formación de tecnólogos superior en automatización e instrumentación*. Obtenido de Investigación Tecnológica IST Central Técnico,: <https://doi.org/10.70998/itistct.v5i1.151>
- Adafruit. (2025). *Products*. Obtenido de Servo Shield V2 Documentation.: <https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-slash-servo-shield/overview>
- Alberto Brunete, P. S. (2025). *Introducción a la Automatización Industrial*.
- Arduino LLC. (2023). Obtenido de Arduino: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- Ashby, M. (2017). *Materials Selection in Mechanical Design (5ª ed.)*. Butterworth-Heinemann.
- Atzeni, D. B. (2022). *Sensors*. Obtenido de Una revisión sistemática de la integración de wifi y aprendizaje automático con técnicas de modelado de temas.: <https://doi.org/10.3390/s22134925>
- Barrera, J. R. (2024). *La tecnología y su impacto en la gestión de procesos y estrategias de automatización*.
- Becerra, L. D. (2021). *Modelos de sistemas integrados de gestión para pequeñas, medianas y grandes empresas. .*
- Brizuela, F. L. (2025). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN Y SEPARACIÓN DE RESIDUOS*.
- Brooks, M. (. (2021). *Raspberry Pi GUI Development with Python*. Apress.
- Bustos, A. (2025). *AUTOMATIZACIÓN DE LA MANUFACTURA*. Obtenido de

<http://manufacturabustos.blogspot.com/2008/09/sistemasautomatizados.html>.

Chachak Eli. (2023). *Cyberdb*. Obtenido de The Role of Technology in Modern Waste Management: Efficiency and Security: <https://www.cyberdb.co/the-role-of-technology-in-modern-waste-management-efficiency-and-security/>

Crespi, F. S. (2024). *Caracterización y sincronización de un radar de radio definido por software en red*. . Obtenido de IET Radar, Sonar & Navigation: <https://doi.org/10.1049/rsn2.12652>

Diaz Colorado, C. F. (2018). *Sistema de Control Automatico para el Reconocimiento y Clasificación de Residuos Reciclables para un Punto Ecológico*. . Universidad Católica de Colombia, Bogota .

Dr. E-Marmolejo, R. (2025). *Microcontrolador – qué es y para que sirve*. . Obtenido de HETPRO.: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>.

Duitama, J. A. (2025). *Controladores electrónicos en la automatización de procesos industriales*. Obtenido de Revista Ciencia, Innovación Y Tecnología: <https://doi.org/10.38017/2390058x.852>

Dynamo Electronics. (2021). *Que es Arduino y para que sirve*. Obtenido de Dynamo Electronics: <https://www.dynamoelectronics.com/que-es-arduino-y-para-que-sirve>

EVIRTUALCISNEROS. (2018). *Protocolos de comunicación web*. Obtenido de Educación Virtual Cisneros: <https://evirtualcisneros.xyz/articulos/8-tecnologia/61-protocolos-de-comunicacion-web>

Fulcrum Point & Co. (2025). *Satelites de sostenibilidad*. Obtenido de Directorio de Sostenibilidad: <https://sustainability-directory.com/question/how-can-technology-transform-waste-management/>

- Gamage, K. S. (2024). *Un marco dinámico para el protocolo de tiempo de red basado en Internet. Sensores*,. Obtenido de Sensores : <https://doi.org/10.3390/s24020691>
- Gara, Z. (2020). Obtenido de Luis Llamas.
- García Molina, R. H. (2017). *Tutorial para diseño y configuración de redes WLAN considerando el estándar 802.11n*.
- García, M. (2023). *Escuela Superior de Diseño Barcelona*. Obtenido de ¿Qué es una interfaz gráfica de usuario o GUI?
- Girela-López, F. L.-J.-L. (2020). *Perfil predeterminado de alta precisión Ieee 1588: aplicaciones y desafíos*. Obtenido de Acceso IEEE: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2978337>
- González, L. &. (2019 ). *Sistemas modulares para la gestión de residuos industriales. Journal of Industrial Waste Management*, 234-245.
- González-Suárez, V. I.-O.-P.-N.-L. (2023). Revisión bibliográfica de sistemas de control para gestión de micro-redes de energía. *Revista Iberoamericana de Ingeniería & Estudios de tecnología*, 3(1), págs. 2-9.
- Hernández, P. &. (2022). Impacto de las tecnologías de reciclaje en la sostenibilidad de los sistemas automáticos. *Environmental Technology Review*, 456-467.
- Horowitz, P. &. (2015). *The Art of Electronics (3ª ed.)*. . Cambridge University Press.
- IEEE Std 1451.0-2024. (2024). *"Estándar IEEE para una interfaz de transductor inteligente para sensores y actuadores: funciones comunes, protocolos de comunicación y formatos de hojas de datos electrónicos de transductores (TEDS)"*. Obtenido de IEEE XPlore: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10571828>
- IQS Directory. (2025). *IQS Articles - Your Source For Industrial Information*.

- Obtenido de Automation Systems: Applications and Advantages.
- Izaro . (2020). *La automatización para la reorganización del proceso de trabajo*.  
Obtenido de Izaro Manufacturing Technology: <https://www.izaro.com/la-automatizacion-para-la-reorganizacion-del-proceso-de-trabajo/c-1584866775/>
- Keyence. (2025). *Serie EX-V Medidor digital de desplazamiento inductivo Catálogo*.  
Obtenido de Guía de sensores para fábricas clasificados por principios:  
<https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/proximity/info/>
- Learn Adafruit. (2025). *Learn Adafruit*. Obtenido de adafruit 16 channel:  
<https://learn.adafruit.com/adafruit-16-channel-pwm-slash-servo-shield/shield-connections>
- Lee, H. e. (2021). Accuracy Improvement in Low-Cost Load Cells for Industrial Automation. *IEEE Sensors Journal*.
- Lee, S. (2025). *Control Systems Component Guide*. Obtenido de Number Analytics:  
<https://www.numberanalytics.com/blog/ultimate-guide-control-system-components>
- Li, F. L. (2023). *Un método mejorado para la sincronización temporal en nanosegundos en el protocolo de tiempo de precisión*. Obtenido de IEEE 1588. Procesos: <https://doi.org/10.3390/pr11051328>
- Li, Q. Z. (2024). *Un algoritmo de sincronización horaria IEEE 1588 basado en compensación de frecuencia*. Obtenido de Undécimo Simposio Internacional sobre Medidas Mecánicas de Precisión,,: <https://doi.org/10.1117/12.3032445>
- Lion Precision. (2025). *Operación y Optimización de Sensores Capacitivos*. Obtenido de LION PRECISION: <https://www.lionprecision.com/?s=capacitive+sensors>
- LJP Waste Solutions. (2025). *LJP Waste Solutions* . Obtenido de Tecnología e Innovación en la Gestión de Residuos:

<https://www.ljpwastesolutions.com/about-us/blogs/entryid/101/technology-and-innovation-in-waste-management>

Llamas, L. (2020). *Detector de Gases con Arduino y la familia de Sensores MQ*.

Obtenido de <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gasmq/>.

Maldonado, E. R. (2022). La calidad del servicio de comunicación óptica Li-Fi (Light Fidelity) en redes de último metro. *Scielo*.

Mandado, E. M. (2009). AUTÓMATAS PROGRAMABLES Y SISTEMAS DE AUTOMATIZACIÓN.

Martín, N. B. (2024). *La automatización de la mediación a través de la inteligencia artificial: un reto para el estatuto del mediador (mediador-robot vs. mediador-humano)*. Obtenido de Lex Electronica: <https://doi.org/10.7202/1109098ar>

Martinez, J. B. (2023). *Diseño y desarrollo de un sistema automatizado enfocado en el reconocimiento y clasificación de residuos sólidos para una mejor gestión*.

Martínez, R. (2020). *Control preciso de servomotores en sistemas de clasificación industrial*. Universidad de Buenos Aires, Repositorio UBA.

Monk, S. (2020). *Programming Arduino: Getting Started with Sketches (2ª ed.)*.

Norton, R. (2020). *Design of Machinery (6ª ed.)*. McGraw-Hill.

Pacheco, A. P. (2021). Dispositivo para la clasificación de residuos solidos y medición de huella ecologica. *Habitus semilleros de investigación*.

Parra, P. B. (2021). *Aplicación metodológica: el uso integrado de estándares de sistemas de gestión para la integración de sistemas de gestión*.

Paulraj, A. (2024). Traversing between the arcs of environmental collaboration: Implications for dyadic environmental performance. *Industrial Marketing Management*.

Ponsa, P. (2009). Diseño Industrial. En P. Ponsa, *DISEÑO Y AUTOMATIZACION*

## INDUSTRIAL.

- Raspberry Pi Foundation. (2020). *Documentation*. Obtenido de Raspberry Pi 3 Model B Technical Specifications.: <https://www.raspberrypi.com/documentation>
- Raspberry Pi Ltd. (2020). *Products*. Obtenido de Official 7-Inch Touchscreen Display Datasheet: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-touch-display/>
- Salazar, K. (2023). *Fasabri*. Obtenido de Diseño de Interfaz de Usuario: Conceptos, Tipos y Principios: <https://www.fasabri.com/blog/disenio-web/disenio-de-interfaz-de-usuario-ui/#:~:text=completado%20con%20%C3%A9xito,-,Tipos%20de%20Interfaz%20de%20Usuario,operativos%20y%20aplicaciones%20de%20software.>
- SanDisk. (2025). *SanDisk Shop*. Obtenido de Shop Sand Disk: <https://shop.sandisk.com/es-la/products/memory-cards/microsd-cards/sandisk-extreme-uhs-i-microsd?sku=SDSQXAF-032G-GN6MA>
- SanDisk. (2023). *SanDisk*. Obtenido de Product Manual for MicroSD Cards.: <https://www.westerndigital.com/products/memory-cards/sandisk-ultra-microsd>
- SDI Industrial. (2022). *Sistemas de control*. Obtenido de SDI Industrial: <https://sdindustrial.com.mx/blog/sistemas-de-control/>
- Sehr, M. L. (2021). *Controladores lógicos programables en el contexto de la industria 4.0*. . Obtenido de IEEE Xplore: <https://doi.org/10.1109/tii.2020.3007764>
- Smith, J. &. (2020). . Enhancing efficiency in industrial waste collection through robotics. En J. &. Smith, *Industrial Robotics Journal* (págs. 112-119).
- Solé, A. C. (2011). Sistemas de Control. En A. C. Solé, *Sistema de control automático de turbulenciador*.
- Sontakke, S. R. (2024). Sistema automatizado de clasificación de residuos.

*International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET).*

SparkFun. (2023). *Products*. Obtenido de Load Cell 5kg + HX711 Guide:  
<https://www.sparkfun.com/products/13879>

SparkFun Electronics. (2025). *Load Cell Amplifier*. Obtenido de SparkFun Electronics:  
<https://www.sparkfun.com/sparkfun-load-cell-amplifier-hx711.html>

Tesla Electronics. (2025). *Productos*. Obtenido de Tesla Electronics:  
<https://www.teslaelectronica.com/producto/servomotor-sg-5010-6kg/>

The Pi Hub. (2025). Obtenido de <https://thepihut.com/blogs/raspberry-pi-tutorials/raspberry-pi-7-touch-screen-assembly-guide?srsltid=AfmBOoo9k0hNYgyM7WepcSLPDgUdK5eeK1kOYV0GXP LgdSSwyfNn3oqw>

The Pi Hub. (2025). *Products*. Obtenido de Raspberry Pi:  
<https://thepihut.com/products/raspberry-pi-3-model-b?srsltid=AfmBOoqC6BcyMQSKsedrWPUztSoAJSB4faGoh7i8VwSE4WroK1OWDc6k>

TowerPro. (2022). *TowerPro*. Obtenido de SG-5010 Servo Motor Datasheet:  
<http://www.towerpro.com.tw>

Unión Europea. (2021). *Digital technologies will deliver more efficient waste management in Europe*. Obtenido de European Environment Agency:  
<https://www.eea.europa.eu/publications/digital-technologies-will-deliver-more/digital-technologies-will-deliver-more>

Universitat Carlemany. (2024). *Universitat Carlemany*. Obtenido de Lista de los protocolos de comunicación más comunes:

<https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/blog/protocolos-de-comunicacion-comunes/>

Vera, I. (2020). *Diagnóstico del nivel de integración y madurez del sistema de gestión de una empresa comercializadora del sector aseo y cosméticos.*

Zailani, S. H. (2023). *Solid Waste and Landfills Management - Recent Advances.* Intech Open.

Zhang, Y. L. (2024). *Un servo reloj difuso-pi con filtro de ventana para compensar la asimetría del retardo inducido por la cola en redes .* Obtenido de IEEE 1588. Sensors: <https://doi.org/10.3390/s24072369>



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Jara Lara, Jorge Isaac** con C.C: # 070517767-3 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis y diseño de un sistema automatizado para la clasificación y valorización de residuos industriales** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 25 de agosto del 2025



---

JARA LARA, JORGE ISAAC

C.C: 070517767-3



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Análisis y diseño de un sistema automatizado para la clasificación y valorización de residuos industriales.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Jara Lara, Jorge Isaac		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. PhD. Ing. Bonilla Sánchez, Ronnie Alexander. MSc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Electrónica y Automatización		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Electrónica y Automatización		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	25 de agosto del 2025	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	74
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sector industrial, sistema automatizado		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Análisis y diseño, sistema automatizado, clasificación, valorización, residuos industriales.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>	<p>El presente trabajo de titulación se propone desarrollar un sistema de análisis y diseño eficiente, capaz de clasificar los residuos con precisión y siendo una opción viable para pequeñas y grandes industrias, la finalidad es diseñar el proceso que se efectúa por las industrias y los residuos que estas presentan; se espera que este proyecto favorezca a estudiantes con los estudios realizados en la Universidad y por los profesores que tienen el conocimiento técnico y teórico y gracias a ellos se dio a cabo este trabajo de titulación.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTORES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593986534729	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:jorge.jara05@cu.ucsg.edu.ec">jorge.jara05@cu.ucsg.edu.ec</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Ubilla González, Ricardo Xavier		
	<b>Teléfono:</b> +593 99 952 8515		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec">ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			