

SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL RECONOCIMIENTO Y
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES (PLÁSTICO, VIDRIO, PAPEL Y
METAL) PARA UN PUNTO ECOLÓGICO

Cristian Fabian Diaz Colorado
Jorge Armando Caldas Vega

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ D.C.
2018

SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL RECONOCIMIENTO Y
CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS RECICLABLES (PLÁSTICO, VIDRIO, PAPEL Y
METAL) PARA UN PUNTO ECOLÓGICO

Cristian Fabian Diaz Colorado
Jorge Armando Caldas Vega

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Electrónico y de
Telecomunicaciones

Director
JOSÉ ROBERTO CUARÁN VALENZUELA
Ingeniero Electrónico, MSc.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BOGOTÁ
2018



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra
hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, Mes de 2018

Este trabajo es dedicado al planeta y a todas las personas dedicadas al reciclaje que con esfuerzo logran hacer de este un mejor lugar para vivir.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, se agradece al cuerpo de docentes de la Universidad Católica de Colombia que en el transcurso de la carrera aportaron los conocimientos bases para llevar a cabo este trabajo de grado. Un agradecimiento especial es para el ingeniero José Roberto Cuarán quien dirigió este proyecto y fue un apoyo fundamental para alcanzar los objetivos de este.

En segundo lugar, se agradece a todas las personas que de alguna manera participaron en el desarrollo de este proyecto, familiares, compañeros y amigos quienes con su apoyo moral animaron la culminación exitosa de este proyecto.

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	17
1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GENERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 JUSTIFICACIÓN	20
4 ANTECEDENTES	21
5 MARCO TEÓRICO.....	26
5.1 RECICLAJE	26
5.2 GESTIÓN DE RESIDUOS EN COLOMBIA.....	27
5.3 AUTOMATIZACIÓN	28
5.4 SENSORES	30
5.4.1 Sensor Capacitivo	32
5.4.2 Sensor Inductivo.....	33
5.4.3 Sensor Óptico.....	36
5.4.4 Galga Extensiométrica.....	37
5.4.5 Final de Carrera.....	39
5.5 ACTUADORES	41
5.5.1 Motores.....	42
5.6 TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS RECICLABLES	46
5.6.1 Clasificación basada en corriente parasita	47
5.6.2 Espectroscopia de ruptura inducida por láser.....	47
5.6.3 Clasificación basada en rayos X.....	48
5.6.4 Clasificación óptica	49
5.6.5 Clasificación basada en imágenes espectrales	50
5.6.6 Separación de plástico	50
6 METODOLOGÍA.....	52
6.1 ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN.....	52
6.2 DISEÑO Y ESTRUCTURACIÓN.....	53
6.3 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN	53
6.4 PRUEBAS	54
6.5 DOCUMENTACIÓN	54
7 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	56
7.1 OBSERVACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PUNTOS ECOLÓGICOS	56
7.2 DEFINICIÓN DE LA MUESTRA DE RESIDUOS A TRABAJAR	58

7.3	INVESTIGACIÓN DE LOS MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA.....	59
7.4	REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	59
7.5	SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES	60
7.6	EXPERIMENTACIÓN CON SENSORES.....	62
8	DISEÑO.....	65
8.1	DISEÑO ESTRUCTURAL	65
8.2	DISEÑO DE LOS LAZOS DE CONTROL	66
8.3	DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA	67
8.4	DISEÑO ELECTRÓNICO.....	69
8.4.1	Fase de regulación	69
8.4.2	Fase de control.....	69
9	IMPLEMENTACIÓN	71
9.1	CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL	71
9.2	ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE ENTRADA.....	72
9.3	ENSAMBLE DEL SISTEMA DE TRANSPORTE.....	73
9.4	PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR.....	74
9.5	ELABORACIÓN DEL PCB.....	75
10	PRUEBAS DEL PROTOTIPO	77
10.1	PRUEBAS DE COMPONENTES	77
10.2	PRUEBAS DE RUTINAS	78
10.3	PRUEBAS DE EFICACIA.....	78
11	CONCLUSIONES.....	79
12	RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	80
13	BIBLIOGRAFÍA.....	81
14	ANEXOS.....	84

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Peso de diferentes muestras de cada material medidos con una celda de carga (gr)	63
Tabla 2. Prueba de Eficacia Sensor Óptico (v)	63
Tabla 3. Dimensiones de la Estructura Física	71
Tabla 4. Consumo del sistema.....	77
Tabla 5. Resultados pruebas de eficacia.	78

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Sistema propuesto por los estudiantes de la IE Andrés Bello.....	21
Figura 2. Creadores: Proyecto Basurero inteligente	22
Figura 3. Planta automatizada para el reciclaje de residuos sólidos urbanos.....	23
Figura 4. Imágenes hiperespectrales de dos muestras.	25
Figura 5. Mapa conceptual del sistema.	26
Figura 6. Pirámide de Automatización	29
Figura 7. Comportamiento del campo eléctrico del sensor capacitivo.	32
Figura 8. Sensor Capacitivo PNP	33
Figura 9. Sensores Inductivos tipo A	34
Figura 10 Sensores Inductivos tipo C	34
Figura 11. Esquema de bloques del sensor inductivo.....	35
Figura 12. Estados del sensor inductivo	35
Figura 13. Sensores ópticos por reflexión y por barrera.	36
Figura 14. Esquema de bloques del sensor óptico.	37
Figura 15. Longitud de una celda de carga.....	38
Figura 16. Distribución del esfuerzo sobre una galga	38
Figura 17. Tipos de Final de Carrera	41
Figura 18. Diagrama de clasificación de actuadores.	42
Figura 19. Motor de Reluctancia	44
Figura 20. Motor de Magneto.....	44
Figura 21. Motor Tipo Híbrido	44

Figura 22. Estructura Mecánica Servo	45
Figura 23. Diagrama de Bloques Servo	46
Figura 24. Clasificación basada en corriente parasita.	47
Figura 25. Espectroscopia de ruptura inducida por láser.	48
Figura 26. Clasificación basada en Rayos X	49
Figura 27. Clasificación óptica.	49
Figura 28. Clasificación basada en imágenes espectrales.	50
Figura 29. Métodos de separación de plástico	51
Figura 30. Diagrama metodológico del proyecto.....	55
Figura 31. Puntos ecológicos Universidad Católica de Colombia.....	56
Figura 32. Comportamiento de los puntos ecológicos.	57
Figura 33. a) Porcentaje de residuos según su gestión. b) Porcentaje según el tipo de residuo. c) Porcentaje según la forma.	58
Figura 34. Gráfico Estadístico Sensor de Peso	63
Figura 35. Gráfico Estadístico Sensor Óptico en voltios (v)	64
Figura 36. Diseño estructural del sistema.....	65
Figura 37. Diagrama P&ID	67
Figura 38. Diagrama de flujo.....	68
Figura 39. Montaje Estructural sin tapa y con tapa	71
Figura 40. Elementos de control	72
Figura 41. Entrada del sistema	72
Figura 42. Entrada del sistema con los elementos de control acoplados	73
Figura 43. Guías lineales, correa y elementos de Control	74

Figura 44. Placa de circuito principal76

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Tipos de residuos para separación en la fuente.....	28
Cuadro 2. Clasificación de sensores.....	30
Cuadro 3. Criterios para selección de sensores.	31
Cuadro 4. Tipos de Sensores Inductivos	34
Cuadro 5. Características de las Galgas	38
Cuadro 6. Tipos de Galgas	39
Cuadro 7. Componentes Básicos Final de Carrera.....	40
Cuadro 8. Categorías de Motores Paso a Paso	44
Cuadro 9. Muestra de residuos de trabajar.....	58
Cuadro 10. Ambientes de operación.....	60
Cuadro 11. Componentes del sistema.....	61
Cuadro 13. Resultados pruebas sensores digitales.....	62

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A. Resumen de tecnologías para la clasificación de residuos.	84
Anexo B. Diseño electrónico.	85
Anexo C. Código fuente.	86

GLOSARIO

ACTUADORES: Instrumentos utilizados para la aplicación de una acción automatizada mediante algún tipo de energía.

AUTOMATIZACIÓN: Es la transición de un proceso manual a un proceso realizado por elementos sistematizados.

MATERIAL RECICLABLE: Es todo material ya utilizado al cual se le puede dar un nuevo ciclo de vida útil, ya sea reutilizándolo para otros fines o procesándolo para convertirlo en materia prima para nuevos productos.

MICROCONTROLADOR: Circuito integrado con el objetivo de realizar acciones programadas.

PUNTO ECOLÓGICO: Serie de canecas de diferentes colores que tiene como objetivo la separación de los diferentes tipos de residuos.

SENSAR: Adquisición de datos eléctricos mediante el uso de sensores.

SENSORES: Instrumentos para la medición de variables físicas y químicas mediante la conversión a una señal eléctrica.

SEPARACIÓN EN FUENTE: Es la actividad de clasificar los residuos por el tipo de material en la que esta elaborados.

RESUMEN

Este trabajo de grado presenta el desarrollo de un sistema de control para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables. Para el desarrollo de este se vio la necesidad de aportar al medio ambiente un sistema de control electrónico para la clasificación de materiales reciclables, teniendo en cuenta que a hoy la disposición de estos residuos no se viene manejando de forma correcta en los puntos ecológicos y con ello los bajos índices de reciclaje que maneja el país. Esta problemática afecta a todos los entornos sociales, además de generar degradación ambiental y de salubridad. Con este sistema no solo se pretende brindar la buena clasificación de los residuos sino también generar educación y concientización para la buena disposición de los residuos.

Durante el proceso de investigación tecnológica se realiza el análisis de requerimientos, diseño e implementación de un sistema de automatización para la identificación y correcta clasificación de materiales reciclables tales como plástico, papel, vidrio y metal. Partiendo de la investigación de las tecnologías existentes para la clasificación de residuos, se determina el uso de sensores capacitivos, inductivos y de fuerza para lograr la identificación de una muestra de los residuos más comunes que se encuentran en los puntos ecológicos. Por otra parte, se diseña el sistema de control automático para la colocación de los residuos en los diferentes contenedores. Finalmente se realiza la implementación del sistema con sus respectivas pruebas y se establece la eficacia de este.

PALABRAS CLAVES:

- Automatización.
- Residuos reciclables.
- Separación en fuente.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la separación en la fuente de los residuos es una actividad que involucra la participación de todos, ya que es una forma de contribuir al cuidado del planeta. El presente trabajo de grado tiene como finalidad automatizar la actividad de reconocimiento y clasificación de los residuos reciclables en puntos ecológicos convirtiendo de esta forma el concepto de punto ecológico en un sistema de control electrónico para la gestión de los residuos reciclables.

En principio la idea de este trabajo de grado surge a razón de la mala manipulación de los residuos en los diferentes puntos ecológicos convencionales. La manipulación inapropiada que se le viene dando a los residuos reciclables está generando la degradación del medio ambiente, como la desaparición de ecosistemas, aumento en la polución y el daño excesivo de la capa de ozono. Por estos y muchos más factores se hace necesaria la intervención de la ingeniería electrónica en este proceso de identificación, clasificación y debida colocación de estos desechos en contenedores o puntos ecológicos. Actualmente se manejan diferentes metodologías y procesos que no están siendo contundentes en pro del desarrollo medio ambiental, las oportunidades de mejora en esta área hacen un llamado urgente a la inclusión de nuevas tecnologías de procesamiento y gestión de estos residuos.

De acuerdo con lo anterior, en la primera parte de este trabajo de grado se hace una revisión general de las tecnologías existentes para la clasificación de residuos, a su vez también se investigan los conceptos más importantes acerca de los procesos de automatización. En segundo lugar, se realiza un estudio estocástico del comportamiento de los puntos ecológicos de la Universidad Católica de Colombia y con ello el análisis que determine la muestra de trabajo. Dentro de este mismo análisis se realiza la selección de los elementos de campo, como sensores que permitirán la identificación de los residuos contenidos en la muestra. En tercer lugar, se realiza el diseño estructural y lógico, seguido de la implementación del sistema de automatización. Por último, se realizan las pruebas de campo y se define el porcentaje de eficacia del sistema.

1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los impactos ambientales generados por las actividades humanas son numerosos. Un ejemplo de impacto negativo es la generación de residuos sólidos o comúnmente llamada basura. Dentro de estos residuos sólidos hay materiales como vidrio, plástico, papel y metales que se podrían aprovechar para darles un nuevo uso, o lo que se conoce como reciclaje, pero la mala gestión¹ de los residuos hace que el porcentaje de reciclaje sea mínimo y que la cantidad de residuos que llega a los vertederos principales sobrepase la capacidad de estos, generando emergencias sanitarias.

De acuerdo con el ministerio de ambiente, en Colombia se generan alrededor de 30.000 toneladas diarias de basura y solo el 17% es reciclada, mientras que en países como Holanda o Suecia alrededor del 95% de las basuras es reciclada². Por esta razón, surge la necesidad de examinar muy detalladamente los procesos de reciclaje implementados en Colombia.

En Colombia se vienen generando campañas de concientización y buenas prácticas en hogares y diferentes entidades públicas y privadas; muchas de estas prácticas se centran en la correcta separación de los residuos, lo que en el proceso de reciclaje se llama separación en la fuente. Dicho procedimiento se viene manejando mediante diferentes canecas recolectoras identificadas con colores para los distintos tipos de residuos, comúnmente llamados puntos ecológicos. Pero, estas prácticas de separación en fuente al ser un proceso manual, no generan la eficacia esperada debido a que las personas por desconocimiento o simplemente por el desinterés, hacen mal uso de estos puntos ecológicos³.

De acuerdo a lo anterior, se llegó al planteamiento del problema del presente trabajo de grado, desde el alcance de la ingeniería electrónica y de telecomunicaciones:

¿Cómo desarrollar un sistema electrónico que permita la clasificación de materiales (papel, vidrio, plástico, metal) de una forma totalmente automatizada para un punto ecológico?

¹ SEMANA SOSTENIBILIDAD. Bogotá es una de las ciudades que peor maneja su basura [en línea] <<https://sostenibilidad.semana.com/medio-ambiente/articulo/bogota-es-la-ciudad-que-peor-maneja-su-basura-en-el-pais/38775>> [citado en 15 de septiembre de 2018]

² CARACOL RADIO. En Colombia solo se recicla en 17% de las basuras [en línea] <http://caracol.com.co/radio/2017/05/17/nacional/1495047458_796244.html> [citado en 15 de septiembre de 2018]

³ PINILLA, Liliana. Estrategias que logren cambio de comportamientos de las personas que integran una empresa, frente a la clasificación de residuos sólidos. Magíster en Gestion Ambiental. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios ambientales y rurales, 2014. P. 11.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema automático de reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico de recolección de basuras.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las diferentes tecnologías en sensores (inductivos, capacitivos, ópticos, etc.) para el reconocimiento de materiales (papel, plástico, vidrio y metal).
- Diseñar el sistema de control que permita la colocación de los residuos en los contenedores correspondientes.
- Implementar el prototipo del sistema de control automático para la identificación y clasificación de los residuos.
- Realizar pruebas del sistema de control con diferentes tipos de materiales y establecer los porcentajes de eficacia del sistema.

3 JUSTIFICACIÓN

Teniendo en cuenta que en Colombia la tasa de reciclaje es del 17 % en residuos de plástico cartón, papel, vidrio y metales, y que la intención del ministerio del medio ambiente es mejorar dicha tasa, surge una opción de mejora la cual propone el reto de aumentar dicho porcentaje. Por tanto, el presente trabajo de grado es realizado para mejorar, mediante la automatización y el control electrónico, el proceso de separación de residuos sólidos en las fuentes de generación.

Por otro lado, esta opción de mejora genera la posibilidad de aplicar los conceptos vistos en el transcurso de programa de ingeniería electrónica y de telecomunicaciones. Conceptos de instrumentación como sensores y actuadores, de control y automatización, y generales como circuitería, serán el eje central de investigación y aplicación en el desarrollo de este trabajo de grado.

4 ANTECEDENTES

Al hablar de la correcta forma para la separación de residuos, el método más conocido e implementado por las instituciones y a nivel doméstico es el método de clasificación manual, el cual consisten en depositar los residuos en diferentes contenedores teniendo en cuenta el material de estos, este método es apoyado por programas de pedagogía que instruyen a las personas sobre el tema.

Por otra parte, los desarrollos tecnológicos son variados, por ejemplo, estudiantes de la Institución Educativa Andrés Bello, al norte del Valle de Aburrá, con la asesoría de la Universidad Nacional de Colombia, desarrollaron un dispositivo electrónico que permite procesar y clasificar mediante la captura de imágenes los residuos reciclables utilizando una cámara web. Esto se pudo obtener mediante algoritmos computacionales, que permitían indicar el lugar donde debía ser depositado cada residuo, según explica Juan Briñez⁴, investigador de la Universidad Nacional y tutor del proyecto. En la Figura 1 se muestra el modelo utilizado en este desarrollo.

Figura 1. Sistema propuesto por los estudiantes de la IE Andrés Bello



Fuente: CATORCE6. OEA destaca prototipo de canecas inteligentes en Colombia [en línea] <<https://bit.ly/2N0UwSN>> [citado en 25 de marzo de 2018].

⁴ CATORCE6. OEA destaca prototipo de canecas inteligentes en Colombia [en línea] <<https://bit.ly/2N0UwSN>> [citado en 25 de marzo de 2018].

En Chile algunos estudiantes del Liceo Politécnico de Curacautín realizaron la separación de materiales como metales, plásticos y vidrios por medio de un diseño electrónico. Según lo expuesto en 24horas.com⁵, Los elementos metálicos son atraídos por un electroimán, mientras que el plástico y el vidrio son separados por acción del agua según su peso, de manera que el plástico y el metal floten, mientras que el vidrio se sumerja hasta el fondo del recipiente y así poder discriminar el tipo de materia. En la Figura 2 se observa el prototipo resultante en ese proyecto.

Figura 2. Creadores: Proyecto Basurero inteligente



Fuente: 24HORAS. Creadores: Proyecto Basurero inteligente [en línea] <<https://bit.ly/2vTt7fh>> [citado en 25 de marzo de 2018].

En México surgió una planta recicladora de residuos sólidos urbanos automatizada con sistemas de control y monitoreo. Según lo expuesto en iresiduo.com⁶, en este proyecto busca poder detectar cuatro tipos de materiales (Aluminio, papel o cartón, vidrio y tereftalato de polietileno (PET)) con ayuda de una banda transportadora y robots tipo delta, pasando primero por un área de inspección mediante el análisis con una cámara desarrollada por Ingenia 4ti y a su vez realizando la ubicación en la banda transportadora para finalmente llegar al área de separación. En la Figura 3 se observa el proceso de automatización implementado en el proyecto.

⁵ 24HORAS. Creadores: Proyecto Basurero inteligente [en línea] <<https://bit.ly/2vTt7fh>> [citado en 25 de marzo de 2018].

⁶ IRESIDUO. Nueva planta automatizada para el reciclaje de residuos sólidos urbanos [en línea] <<https://bit.ly/2OMBT5J>> [citado en 01 de abril de 2018].

Figura 3. Planta automatizada para el reciclaje de residuos sólidos urbanos



Fuente: IRESIDUO. Nueva planta automatizada para el reciclaje de residuos sólidos urbanos [en línea] <<https://bit.ly/2OMBT5J>> [citado en 01 de abril de 2018].

En cuanto al tema de la identificación de materiales se encuentran propuestas muy interesantes. Por ejemplo, en el IV congreso internacional de ingeniería mecatrónica y automatización- CIIMA 2015, se presentó un sensor para el reconocimiento de materiales a través de la capacitancia. Según lo expuesto en el IV congreso internacional de ingeniería mecatrónica y automatización⁷, dicho sensor utiliza un oscilador de Colpits en el cual se reemplaza uno de sus condensadores por dos placas paralelas en donde se coloca los diferentes materiales, estos generan cambio de frecuencia los cuales son transformados en voltaje para su posterior lectura y procesamiento del sistema embebido.

En las últimas décadas se han realizado trabajos muy importantes para el tratamiento de los residuos sólidos municipales según artículo de la revista Elsevier⁸. En 2004, Dodbiba y Fujita realizaron la revisión de técnicas de separación basadas en agua y en seco y omitieron el uso de sensores; en 2005, Shapiro y Galperin, revisaron varias técnicas de clasificación de aire para partículas sólidas; en 2009, Al-Salem et al, revisaron el reciclaje de químicos y la recuperación de energía a partir de residuos sólidos plásticos; en 2011, Sadat-Shojai y Bakhshandeh, revisaron la recuperación de energía, el reciclaje mecánico y químico y los métodos de separación reciclando residuos de cloruro de polivinilo; en 2012,

⁷ PÉREZ, Edwin. ARÉVALO, Miguel. LANCHEROS, Diana. Diseño y desarrollo de un sensor para el reconocimiento de materiales a través de la Capacitancia. En: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN (4 : 2015 : Bogota). Memorias del IV congreso internacional de ingeniería mecatrónica y automatización. 2015. p. 340-345

⁸ GUNDUPALLI, Sathish. HAIT, Subrata. THAKUR, Atul. A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. En: Waste management [base de datos en línea]. 60 (2017). p. 56-74 [citado en 31 de julio de 2018] disponible en sciencedirect.

Gaustad et al, estudiaron los métodos de separación física y química en la clasificación y eliminación de impurezas de los desechos de aluminio; en 2013, Wu et al, revisaron las técnicas de separación triboelectrostáticas para clasificar el plástico de los desechos; en 2014, Rahman et al, revisaron las técnicas de clasificación para segregar el papel usado y también recomendaron técnicas de clasificación de bajo costo correspondientes al tipo de papel presente en el desecho; en 2015, Cimpan et al, revisaron el procesamiento físico de los desechos para segregar los reciclables de los residuos sólidos municipales. La revisión se centró en estudios de casos de experiencia operativa sin enfatizar muchos aspectos de la automatización, incluidos el manejo de materiales, los sensores y el control. Y finalmente, también en 2015, Wang et al, publicó una revisión exhaustiva sobre la separación por flotación de varios tipos de plásticos a partir de residuos.

En Tamaulipas – México. Delia Itzel López Dueñas estudiante de secundaria del colegio tecnológico de esta ciudad realizó el diseño de un “Basurero para reciclaje automático selectivo”. Según lo publicado por Sipse⁹, este sistema de control se encarga de clasificar y realizar la separación de desechos mediante la implementación de sensores para la detección de: vidrio, papel, plástico y metal. Además de buscar la separación de estos materiales reciclables hay un propósito social que busca concientizar a la comunidad en el manejo adecuado de los residuos sólidos.

Con el uso de un sistema de imagen hiperespectral infrarrojo de onda corta, un equipo de investigación conformado por miembros del laboratorio de imagen y procesamiento de señales de la Universidad de Kocaeli de Turquía, y un miembro del MS MacroSystem Nederland de Holanda¹⁰, lograron la identificación de diferentes tipos de plásticos y otros materiales como papel y metal. En la investigación, diferentes materiales de desecho como plásticos, papeles, vidrio y metal son escaneados por el SWIR sistema de imagen hiperespectral y ordenado automáticamente usando algoritmos computacionales. Diferentes tipos de tipos de plástico, como PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS; diferentes tipos de papeles como papel, cartón, metal y vidrio son clasificado con éxito.

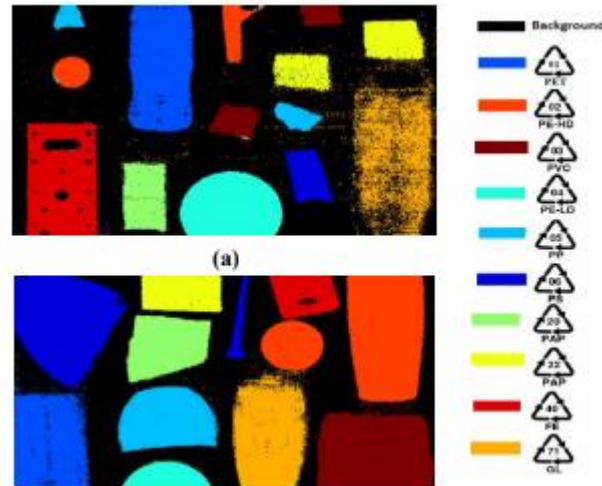
Las precisiones de clasificación son superiores a los métodos convencionales de separación de residuos. La aplicación es la más integral en términos clasificación de tipos de residuos utilizando imágenes hiperespectrales, según concluyen sus

⁹ SIPSE. Niña Genio inventa un ‘basurero para reciclaje automático selectivo’ [en línea] <<https://bit.ly/2MrJJ8h>> [citado en 20 de agosto de 2018].

¹⁰ KARACA, Ali. ERTÜRK, Alp. GÜLLÜ, Kemal. ELMAS, M. ERTÜRK, Sarp. "Automatic waste sorting using shortwave infrared hyperspectral imaging system," 2013 5th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), Gainesville, FL, 2013, p. 4.

autores. En la Figura 4 se observa el resultado del escaneo para dos muestras de materiales.

Figura 4. Imágenes hiperespectrales de dos muestras.



Fuente: KARACA, Ali. ERTÜRK, Alp. GÜLLÜ, Kemal. ELMAS, M. ERTÜRK, Sarp. "Automatic waste sorting using shortwave infrared hyperspectral imaging system," 2013 5th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), Gainesville, FL, 2013, p. 3.

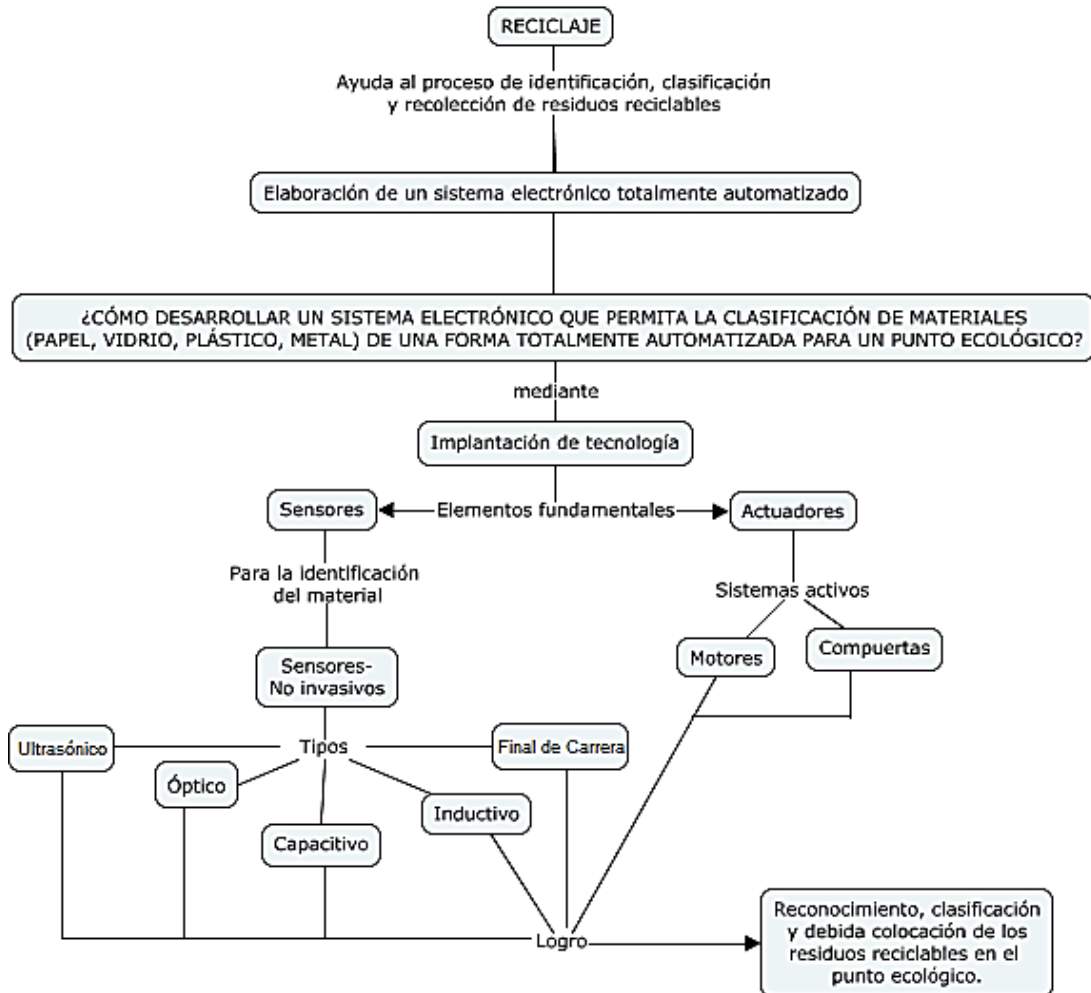
Integrantes de la facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnología Perlis¹¹ de Malaysia, realizaron el estudio de diferentes métodos de clasificación de residuos domésticos. El estudio se centró en el método por capacitancia. Utilizando un sensor capacitivo con salida análoga, y probando a diferentes frecuencias de operación, realizaron el sensado de materiales como concreto, madera y metal a diferentes distancias. Como resultado obtuvieron que la lectura del sensor capacitivo varía respecto a la frecuencia, distancia y propiedades del material sensado, con lo que se puede realizar la caracterización correspondiente para cada tipo de material. El objetivo de esa investigación era proporcionar una base para el diseño de sistemas que permitan la separación en la fuente de los residuos domésticos.

¹¹ DAUD, Mohd. BAHRI, Zol. Optimum identification method of sorting green household waste. En: MATEC Web of Conferences [base de datos en línea].78 (2016). p. 1-9 [citado en 17 de septiembre de 2018] disponible en proquest.

5 MARCO TEÓRICO

Para mejorar la comprensión del objetivo del trabajo de grado, se definen los siguientes conceptos que se utilizaron en el desarrollo del mismo. En el siguiente mapa conceptual se muestran los conceptos y su papel en el trabajo de grado (véase figura 5).

Figura 5. Mapa conceptual del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

5.1 RECICLAJE

Teniendo en cuenta que el proyecto está enfocado en automatizar uno de los pasos contenidos en el proceso de reciclaje, es importante conocer la definición y todo lo que encierra el termino reciclaje. Y ¿qué es el reciclaje?, Lund define el reciclaje

como: “Es una estrategia de gestión de residuos sólidos, el cual debe ser un método igual de útil que el vertido o la incineración, y ambientalmente, más deseable. Por tanto, es el método de gestión de residuos sólidos ambientalmente amigable”¹².

Todo este proceso es sumamente extenso y complicado el cual va desde la generación de los residuos en la fuente hasta la disposición final del material reciclado.

Como se indicó con anterioridad, este proyecto busca la automatización del paso de separación de residuos en la fuente de generación dentro del proceso de reciclaje. La separación en la fuente se debe encargar de la identificación y clasificación de los distintos tipos de residuos que se generan en algún lugar determinado como por ejemplo las industrias, las instituciones, el comercio y el hogar.

5.2 GESTIÓN DE RESIDUOS EN COLOMBIA

En Colombia son numerosas las leyes, decretos, resoluciones y normas, que normalizan la gestión de residuos. Específicamente hablando de la separación en la fuente de residuos y acotando la población a Bogotá, se encuentra la resolución 799 del 31 de diciembre de 2012, que establece el conjunto de materiales reciclables y no reciclables para la debida separación de residuos sólidos en la fuente. También, se encuentra la guía técnica colombiana del Icontec GTC-24 del 20 de mayo de 2009, la cual es una guía técnica para la separación en la fuente de materiales no peligrosos con potencial de reciclaje y brinda orientaciones para la recolección selectiva de los mismos¹³.

Otra normativa importante en la gestión de residuos es el PGIRS o plan de gestión integral de residuos sólidos, el cual es independiente para cada región del país. Con respecto a este plan, el decreto 2981 de 2013, por el cual se reglamenta la prestación de servicios públicos de aseo, indica que: “En el caso de los residuos ordinarios y cuando el PGIRS establezca programas de aprovechamiento, la recolección de residuos con destino a disposición final deberá realizarse de manera separada de aquellos con posibilidad de aprovechamiento, implementando procesos de separación en la fuente y presentación diferenciada de residuos”¹⁴. También indica “En el marco de los PGIRS, el municipio deberá considerar la

¹² LUND, Herbert F, et al. Manual McGraw-Hill de reciclaje. Madrid: McGraw Hill, c1996. 1 v. Manuales McGraw-Hill de ingeniería y ciencia. ISBN 9788448105839.

¹³ CONTRALORÍA DE BOGOTÁ. Procedimiento manejo integral de residuos [en línea] <<http://cuon.io/UMAfR>> [citado en 15 de septiembre de 2018].

¹⁴ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. DECRETO 2981 (20, diciembre, 2013). Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Art. 27.

articulación del proyecto de aprovechamiento de residuos con los demás componentes del servicio público de aseo como la presentación de los residuos separados en la fuente, recolección y transporte selectivo, sensibilización y capacitación en separación en la fuente”¹⁵. Por último, indica “Es deber de los usuarios realizar separación en la fuente cuando se haga recolección selectiva de residuos sólidos aprovechables, de acuerdo con las condiciones establecidas por los respectivos Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS y el Programa de Prestación del Servicio”¹⁶.

Para la implementación del proyecto se tuvo en cuenta los siguientes criterios para la separación en la fuente en la guía técnica colombiana GTC-24, los cual se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Tipos de residuos para separación en la fuente

Tipo de residuo	Sector	Clasificación	Ejemplos	Color caneca
Residuos no peligrosos	Industrial, comercial institucional y de servicios	Aprovechables	Cartón y papel	Gris
			Vidrio	Blanco
			Plástico	Azul
			Residuos Metálicos	Café oscuro

Fuente: ANDI. Informe nacional de aprovechamiento 2016 [en línea] <<http://cuon.io/i1PKz>> [citado en 15 de septiembre de 2018].

5.3 AUTOMATIZACIÓN

La automatización en Colombia viene surgiendo desde varios años atrás. Esta práctica viene en incremento y tiende a ser tendencia en diferentes industrias del sector de servicios, mantenimiento, etc. Dentro del modelo de automatización de procesos industriales y domésticos, la necesidad que tienen las grandes y pequeñas empresas es optimizar procesos, reducir costos de mano de obra y producción, esto con un retorno a la inversión en poco tiempo y a gran escala. La automatización toma fuerza en distintos campos donde existen diferentes variables que pueden aprovecharse en pro de brindar un servicio digno y óptimo a las necesidades de las personas; estas variables van de la mano con mejoras en la productividad, reducción de costes de producción y mejorando en gran magnitud la calidad de los procesos terminados.

¹⁵ Ibid., Art 92.

¹⁶ Ibid., Art 93.

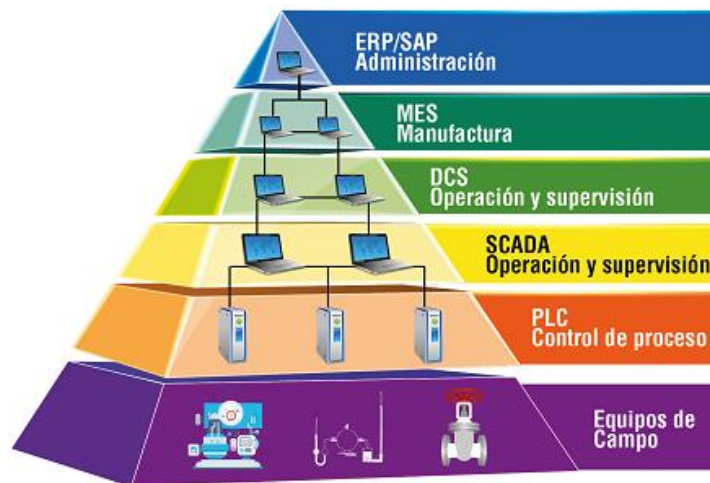
Automatización se define como: La sustitución parcial o total de la intervención humana en la amplia variedad de operación (o secuencia de estas) que están integradas en una organización.¹⁷

Dentro de la pirámide de automatización se encuentran cinco ítems que son fundamentales para la debida gestión, administración y buenas prácticas que se deben tener a la hora de manejar sistemas automatizados en la industria. En el primer nivel se encuentran los equipos de campo o actuadores, en este nivel se encuentra todo el hardware que se va a controlar desde el segundo nivel (Control del proceso), allí se encuentran toda clase de elementos que permiten el funcionamiento del sistema mecánico. Dentro de este se encuentran todos los actuadores como motores (paso a paso, servos) y sensores.

En el segundo nivel se encuentra el Control de Proceso, el principal trabajo de este nivel se encuentra en gestionar y controlar mediante procesos programados o automatizados el trabajo del sistema, se incluyen todos los elementos de control como computadores, PLC's, PID's, etc.

El trabajo de grado llegará hasta la segunda etapa y tendrá un sistema que permite supervisar y monitorear el estado de las canecas del sistema el cual entra en funcionamiento después de la colocación de algún material sobre las canecas (véase figura 6).

Figura 6. Pirámide de Automatización



Fuente: STEEMIT. La Pirámide de Automatización [en línea] <<https://steemit.com/spanish/@autinf/la-piramide-de-automatizacion>>

¹⁷ VALCÁRCEL, Miguel. Automatización y Miniaturización en Química Analítica. Springer Science & Business Media, 2000, P.31. [en línea] <<https://bit.ly/2F3efSD>>

5.4 SENSORES

Es un elemento que permite a partir de la energía consumida por sí mismo, arroja una señal de salida que permite la lectura en función de la variable medida o analizada. Los sensores son considerados como el aumento de los sentidos para adquirir o desarrollar un conocimiento, que teniendo en cuenta su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas fácilmente por los sentidos¹⁸. Los sensores se pueden clasificar como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de sensores.

Criterio	Clases	Ejemplos
Aporte de energía	<ul style="list-style-type: none">- Moduladores.- Generadores.	<ul style="list-style-type: none">- Termistor.- Termopar.
Señal de salida	<ul style="list-style-type: none">- Analógicos.- Digitales.	<ul style="list-style-type: none">- Potenciómetro.- Codificador de posición.
Modo de operación	<ul style="list-style-type: none">- De deflexión.- De comparación.	<ul style="list-style-type: none">- Acelerómetro de deflexión.- Servo acelerómetro.

Fuente: PALLAS, Ramon. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona (España): Marcombo S.A, 2003, P.3.

Entre los sensores existen los denominados sensores primarios, los cuales generan una señal de transducción de acuerdo a la magnitud física medible. Entre los sensores primarios se encuentran los sensores térmicos, sensores de flujo y de caudal, sensores de nivel, sensores de presión y los sensores de fuerza y par; algunos factores a considerar, la elección se puede mostrar en el cuadro 3.

¹⁸ PALLAS, Ramon. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona (España): Marcombo S.A, 2003, P.3.

Cuadro 3. Criterios para selección de sensores.

Magnitud a medir	<ul style="list-style-type: none"> - Margen de medida - Resolución - Exactitud deseada - Estabilidad - Ancho de banda - Tiempo de respuesta - Límites absolutos posibles de la magnitud a medir - Magnitudes interferentes
Características de salida	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilidad - Tipo: tensión, corriente, frecuencia - Forma señal: unipolar, flotante, diferencial <ul style="list-style-type: none"> - Impedancia - Destino: presentación analógica, conversión digital.
Características de alimentación	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión - Corriente - Potencia disponible - Frecuencia (si alterna) - Estabilidad
Características ambientales	<ul style="list-style-type: none"> - Margen de temperaturas - Humedad - Vibraciones - Agentes químicos - ¿atmósfera explosiva? - Entorno electromagnético
Otros factores	<ul style="list-style-type: none"> - Peso - Dimensiones - Vida media - Coste de adquisición - Disponibilidad - Tiempo de instalación - Longitud de cable necesaria <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de conector - Situación en caso de fallo - Coste de verificación - Coste de mantenimiento - Coste de sustitución

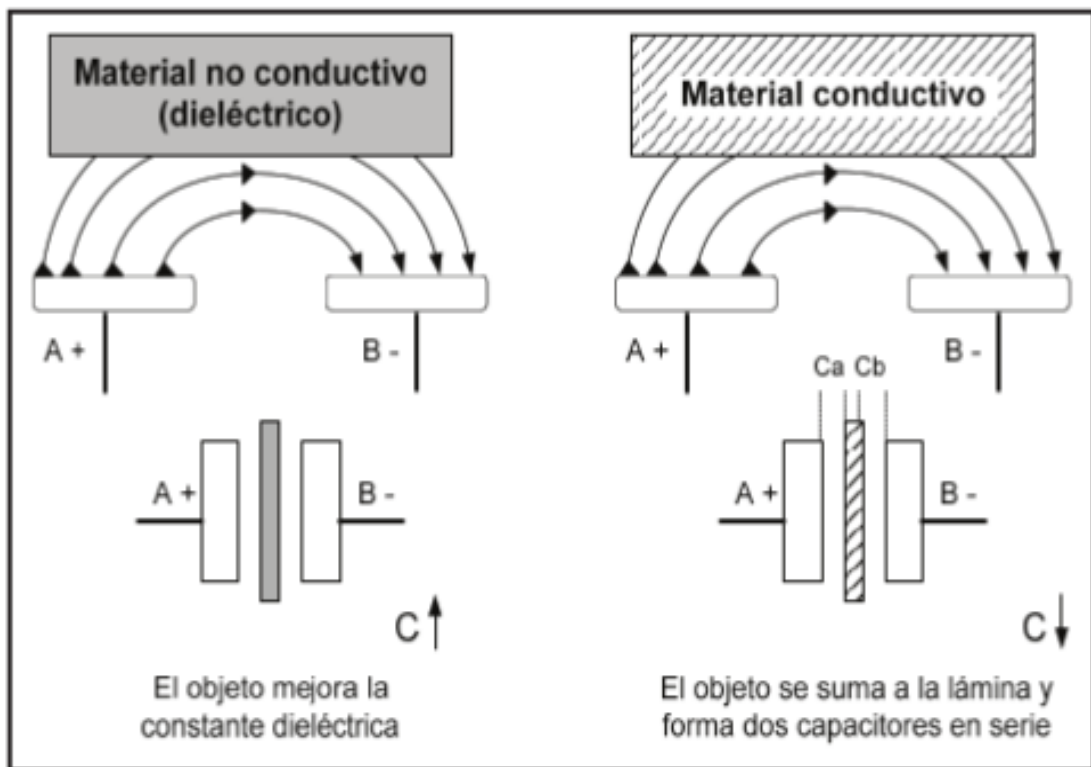
Fuente: PALLAS, Ramon. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona (España): Marcombo S.A, 2003, P.3.

5.4.1 Sensor Capacitivo

El sensor capacitivo basa su funcionamiento en la estimulación y variación del campo eléctrico generado por sí mismo. Esta variación hace que su estabilidad tenga un cambio de acuerdo con la estimulación que el elemento sensado realice sobre el campo magnético generado por el mismo sensor. Normalmente este elemento es utilizado para la detección de materiales metálicos y no metálicos. La forma de detección del material analizado se da de la siguiente manera; se verifica el cambio de capacitancia de acuerdo con la constante dieléctrica que posea dicho material y además de estas constantes, la masa, tamaño y distancia son factores que repercuten a la hora de clasificar algún material.

El principio de funcionamiento de los sensores capacitivos es parecido al de los sensores inductivos, para este caso los elementos sensibles es el capacitor del circuito oscilante LC (véase figura 7).

Figura 7. Comportamiento del campo eléctrico del sensor capacitivo.



Fuente: DANERI, Pablo A., PLC: automatización y control industrial, Editorial Hispano Americana HASA, 2008. ProQuest Ebook Central, [en línea] <<http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucatolicasp/detail.action?docID=3183744>>

Cuando algún objeto o material es detectado, en la zona sensible se altera el campo eléctrico, variando la capacitancia y, por tanto, la frecuencia del oscilador. Para los materiales no metálicos se incrementa el campo eléctrico ya que se intensifica la constante dieléctrica CD.

Para los elementos metálicos el campo eléctrico disminuye, ya que en su reacción se forman dos capacitores en serie. Estos sensores se ven afectados por el grado de humedad ambiental existente y directamente por la composición del material. Los sensores capacitivos se utilizan normalmente para la detección de materiales no metálicos tales como:

- Vidrio.
- Cerámica.
- Plástico.
- Madera.
- Aceite.
- Agua.
- Cartón.
- Papel.

En la figura 8 se muestra un sensor capacitivo con salida PNP.

Figura 8. Sensor Capacitivo PNP



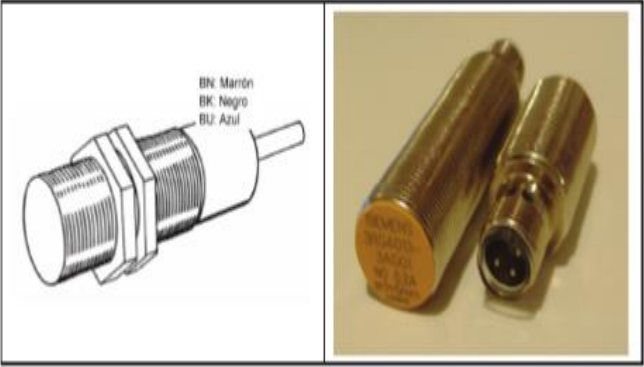
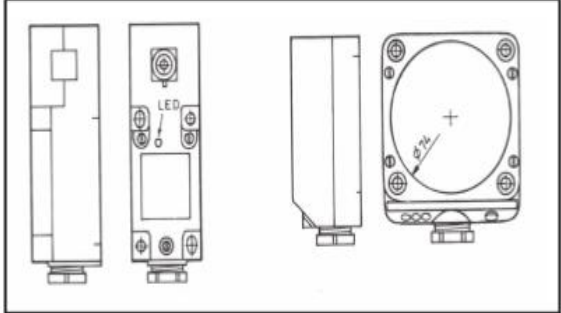
Fuente: Ibid., pag 63

5.4.2 Sensor Inductivo

Los sensores inductivos se utilizan eventualmente para la detección de materiales ferrosos a una distancia determinada por la referencia del sensor. Usualmente, estos tipos de sensores son usados en la industria para aplicaciones de posición, detección o ausencia de materiales metálicos. Este tipo de sensores sirven para la detección de presencia de objetos o materiales metálicos en un rango de distancias

que va desde 1 mm a unos 30 mm, aproximadamente, con una resolución del orden de décimas de milímetro. La ejecución mecánica se encuentra normalizada definiéndose los siguientes tipos.¹⁹

Cuadro 4. Tipos de Sensores Inductivos

<p>Forma A: Es un dispositivo que tiene forma cilíndrica con rosca con un diámetro normalizado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si la rosca llega hasta el final del cabezal se suele llamar enrrasable. - En caso de que el cabezal sobresalga del resto del sensor se denominaría no enrrasable. <p>Existen diferentes diámetros entre los que sobresalen los de 4 y 5 mm como se evidencia en la figura 9.</p>	<p>Figura 9. Sensores Inductivos tipo A</p> 
<p>Forma C: Es un dispositivo que tiene forma paralelepípedo su cabezal se puede orientar, normalmente son utilizados para alcanzar distancias con grandes longitudes de detección. En la figura 10 se muestran los sensores de forma C.²⁰</p>	<p>Figura 10 Sensores Inductivos tipo C</p> 

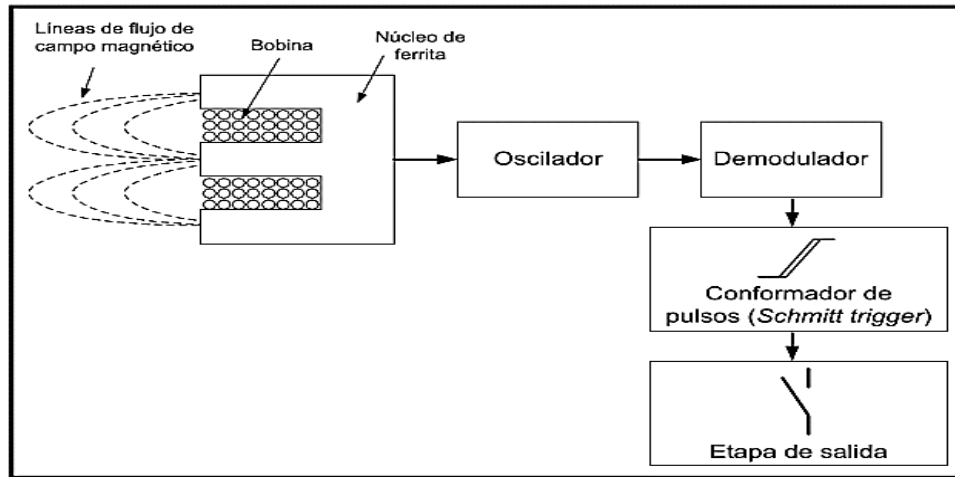
Fuente: Ibid., P.59

A continuación, en la figura 11, se presenta el diagrama de bloques del sensor inductivo, el cual se conforma por los cabezales de detección, el respectivo oscilador de alta frecuencia (1-100 MHz), el demodulador, con un disparador de Schmitt y su respectiva etapa outbound.

¹⁹ DANERI, Pablo A., PLC: automatización y control industrial, Editorial Hispano Americana HASA, 2008. P.58 ProQuest Ebook Central, [en línea] <<http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucatolicasp/detail.action?docID=3183744>>

²⁰ Ibid., P.59

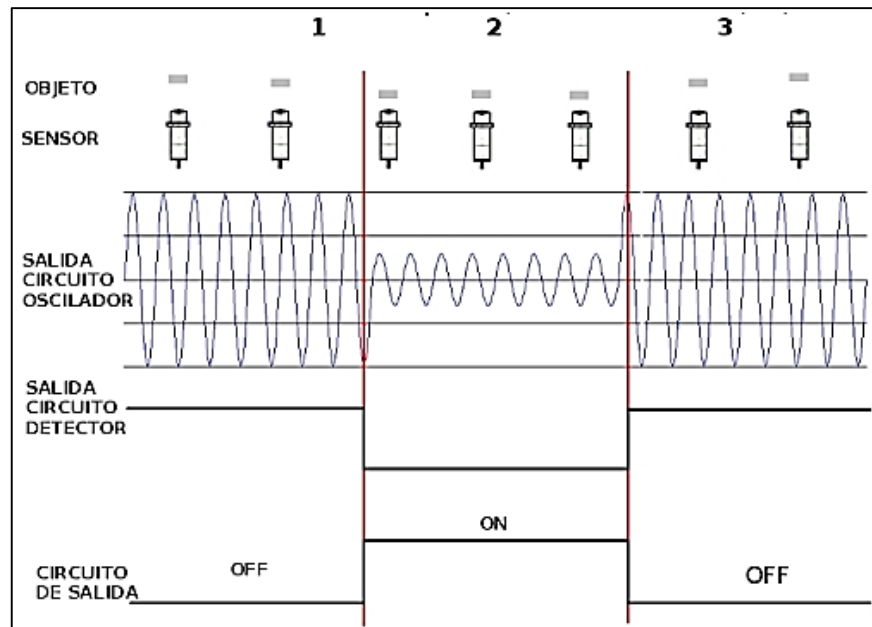
Figura 11. Esquema de bloques del sensor inductivo



Fuente: Ibid., P. 60

Para la detección de materiales el sensor inductivo maneja dos estados donde varía la amplitud y frecuencia de la señal detectada, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Estados del sensor inductivo



Fuente: Google Imágenes. Sensor Inductivo. 2018. [en línea]
<https://goo.gl/images/TAcCU1>

5.4.3 Sensor Óptico

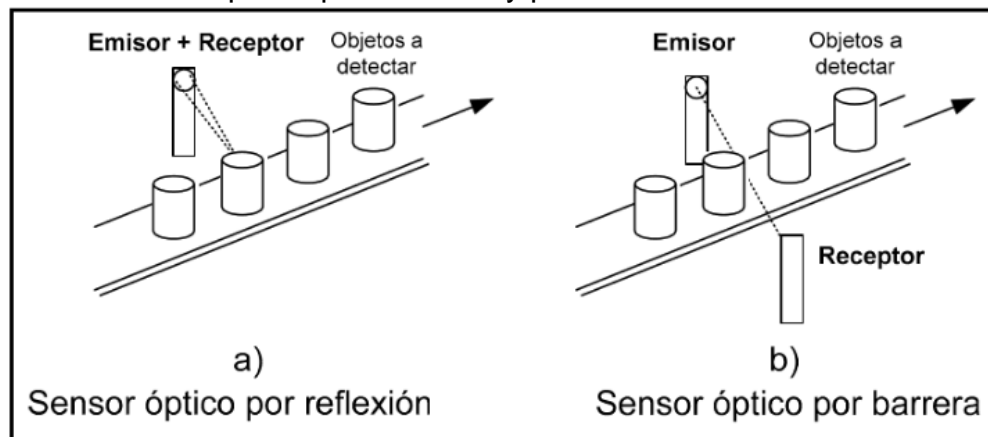
El sensor óptico o también llamado fotoeléctrico es capaz de detectar la presencia a una distancia "x" a través del cambio de intensidad de luz. La detección se logra mediante la reflectividad que realice el haz emitido por el sensor sobre el material sensado; es posible detectar varios tipos de materiales como vidrio, metal, plástico, madera y líquidos.²¹

La detección se produce cuando existe un haz de luz el cual es interrumpido o reflejado por algún objeto que se pretende sensar. Con base en esto, existen fundamentalmente dos tipos, por reflexión o por barrera.

Reflexión: Estos dispositivos lo conforman un cabezal que tiene inmerso el emisor de luz y el led receptor de detección, de esta formar se logra la reflexión del haz sobre el objeto sensado como se ve en la figura 13.a.

Barrera: El segundo dispositivo trabaja en modo barrera, con estos la fuente o haz de luz es independiente del detector y surgen para mayores distancias como se ve en la figura 13.b.

Figura 13. Sensores ópticos por reflexión y por barrera.

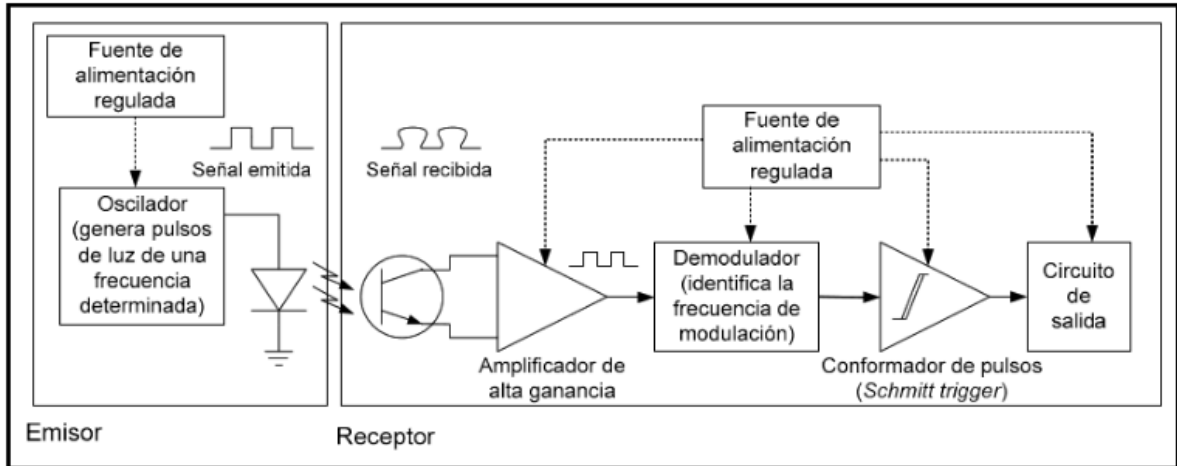


Fuente: Ibid., P.64

Los sensores ópticos normalmente son utilizados como emisores LED en altas frecuencias luminosas en gamas de infrarrojos y luz modulada a fin de lograr una gran inmunidad a otras fuentes de luz ambientales. En la figura 14 se evidencia el diagrama de bloques del sensor óptico en el que se describen la parte de emisión y recepción del sensor:

²¹ DANERI, Pablo A., PLC: automatización y control industrial, Editorial Hispano Americana HASA, 2008. P.64 ProQuest Ebook Central, [en línea] <<http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucatolicasp/detail.action?docID=3183744>>

Figura 14. Esquema de bloques del sensor óptico.



Fuente: Ibid., P.64

Las principales ventajas respecto a otros sensores de proximidad son:

- Sus grandes distancias para la detección de objetos.
- Los dos tipos de sensores ofrecen distancias grandes de 50m en tipo barrera, y 5m para tipo reflexión.
- Inmune a señales electromagnéticas netamente externas.
- Grandes respuestas en velocidad y frecuencias de conmutación.
- Facilidad para la identificación de colores.
- Facilidad para la detección de objetos con tamaños en décimas.

5.4.4 Galga Extensiométrica

Las galgas extensiométricas como se pueden considerar transductores de fuerza los cuales se basan en la variación de la resistencia de un conductor o semiconductor cuando estos son sometidos a diferentes esfuerzos (efecto piezorresistivo).²²

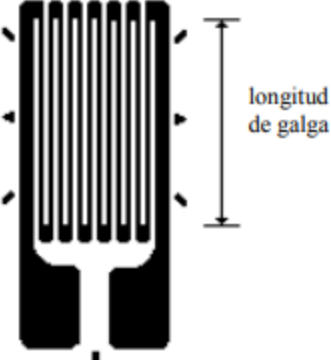
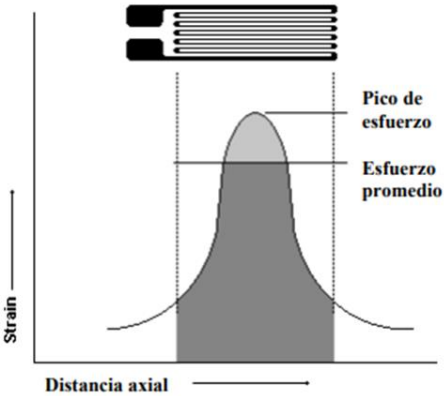
Se define como galga extensiométrica o “strain gage” (en inglés) al dispositivo de medida, que cumple con una medición electrónica de diferentes magnitudes mecánicas como son la deformación, carga, torque, presión, posición, etc. El

²² GRANDA, Mercedes, MEDIAVILLA Elena. Instrumentación y Electrónica: Transductores y Acondicionadores de Señal. España: Universidad de Cantabria, 2015, P.353. [en línea] <<https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliocaticasp/reader.action?docID=3428884&pg=1>>

esfuerzo se debe a la deformación de un cuerpo debido a la fuerza aplicada sobre algún objeto".²³

A continuación, en el cuadro 5 se muestran algunas características técnicas de las celdas de peso:

Cuadro 5. Características de las Galgas

<p>Longitud de una galga:</p> <p>En la figura 15 se ilustra la región de sensibilidad donde se realiza el esfuerzo de una galga. Las almohadillas donde se realiza el esfuerzo son transversales a galga y tienen una baja resistencia eléctrica. Para mitigar las necesidades de extensos esfuerzos existen galgas de longitudes que van desde los 0.2mm a 100mm.²⁴</p>	<p>Figura 15. Longitud de una celda de carga.</p> 
<p>Esfuerzo de la galga:</p> <p>El esfuerzo de la galga normalmente depende de la longitud de esta. Usualmente una galga que tiene una longitud más grande que el esfuerzo ejercido sobre ella, mostrará un esfuerzo bajo. En la figura 16 se muestra la distribución del esfuerzo que puede llegar a tener una galga, y demuestra el esfuerzo pico y promedio de una galga que podría ser sometida a un esfuerzo.²⁵</p>	<p>Figura 16. Distribución del esfuerzo sobre una galga</p> 

Fuente: Fuente: SOSA, Javier, Galgas Extensiométricas – Strain Gages 1, Buenos Aires, Argentina, UNLP, P.9-10.

²³ SOSA, Javier , Galgas Extensiométricas – Strain Gages 1, Buenos Aires, Argentina, UNLP, P.9, [en línea]
https://web.archive.org/web/20130612155741/http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/apuntos/Strain_Gages_1.pdf

²⁴ Ibid., P.9

²⁵ Ibid., P.10

La lectura aceptable de una celda depende directamente de la longitud de la misma, se recomienda que la longitud de la galga no sea extremadamente superior al peso u objeto a pesar²⁶. En el cuadro 6 se relacionan los tipos de galgas existentes.

Cuadro 6. Tipos de Galgas

Galgas cortas	<p>Este tipo de galgas normalmente brindan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una longitud aproximada de 3mm. - Usualmente tiende a deteriorar su rendimiento debido a su gran uso y gran esfuerzo sometido sobre ellas. - Cuando el funcionamiento de esta es aún más cada vez se recomienda utilizar una galga más extensa a nivel de longitud.
Galgas largas	<p>Este tipo de galgas brindan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Son utilizadas normalmente por su fácil manipulación desde el momento de instalación, hasta su cableado. - Brindan una mejor disipación de calor teniendo en cuenta la resistencia nominal, la cual maneja menor potencia alrededor de toda la almohadilla. Esta recomendación brinda el uso de esta galga sobre materiales como plástico y otros que no brindan tanta disipación. - La no disipación adecuada podría afectar la almohadilla y con ello bajar notablemente el rendimiento y la precisión del sensor.

Fuente: SOSA, Javier, Galgas Extensiométricas – Strain Gages 1, Buenos Aires, Argentina, UNLP, P.11

5.4.5 Final de Carrera

Es también llamado interruptor de límite. Es un dispositivo electrónico, neumático o mecánico que normalmente se encuentra situado al final de algún recorrido o elemento móvil, que busca enviar una señal o modificar el estado o comportamiento de un circuito. Estos están fabricados originalmente con diferentes materiales como metal, plástico o vidrio. En el cuadro 7 se relacionan los componentes básicos de un sensor final de carrera.

²⁶ Ibid., P.10-11

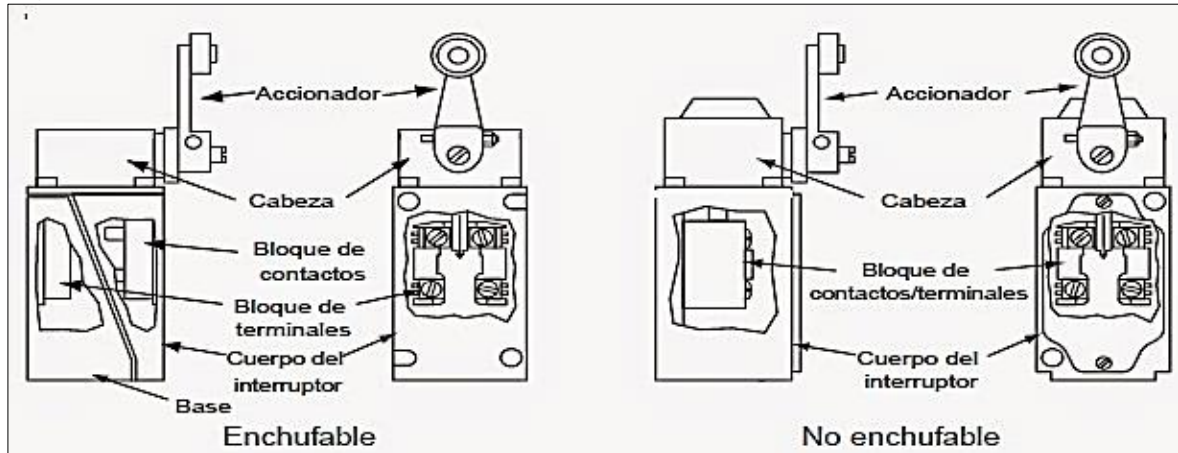
Cuadro 7. Componentes Básicos Final de Carrera

Accionador	Es el objeto que entra en contacto los elementos que se están en proceso de detección. Existe 2 tipos de accionadores, en reposo y punto de operación o disparo, estos manejan diferentes estructuras de funcionamiento: <ul style="list-style-type: none"> - Pulsación lateral o superior. - Vástago oscilante. - Lateral Rotatorio.
Cabeza	Es un elemento que se encarga de transformar los movimientos del accionador en desplazamiento de contacto. En caso de que el accionador genere movimientos oportunos producirá que los contactos en el interruptor se accionen.
Bloque de contactos	Aquí están ubicados todos los elementos de contacto del interruptor que se describe en próximos ítems, por cada bloque existen dos o cuatro contactos para ser utilizados.
Bloque de terminales	Se encuentran los elementos atornillables que son utilizadas para las diferentes conexiones entre el circuito y el interruptor.
Cuerpo del interruptor	Para el interruptor enchufable, es la estructura donde se encuentra el bloque de contactos y para los no enchufables, se encontrarán el bloque de contactos y terminales del interruptor.
Base	Para los interruptores enchufables la base se encarga de alojar el bloque de terminales, para los interruptores no enchufables no existe una base externa adicional.

Fuente: Control e Instrumentación Industrial S.A, Interruptores de Final de Carrera (Limit switch), Buenos Aires, Argentina, P1. [en línea] <<http://ceiisa.blogspot.com/2015/05/interruptores-de-final-de-carrera-limit.html>>

El método de funcionamiento del sensor es mediante el envío de una señal digital on/off basada en la presencia o ausencia de algún elemento, en la figura 17 se relacionan los tipos existentes para el sensor final de carrera.

Figura 17. Tipos de Final de Carrera



Fuente: Ibid., P1

Para los sensores finales de carrera se manejan dos modos de funcionamiento:

- Modo positivo.
- Modo negativo.

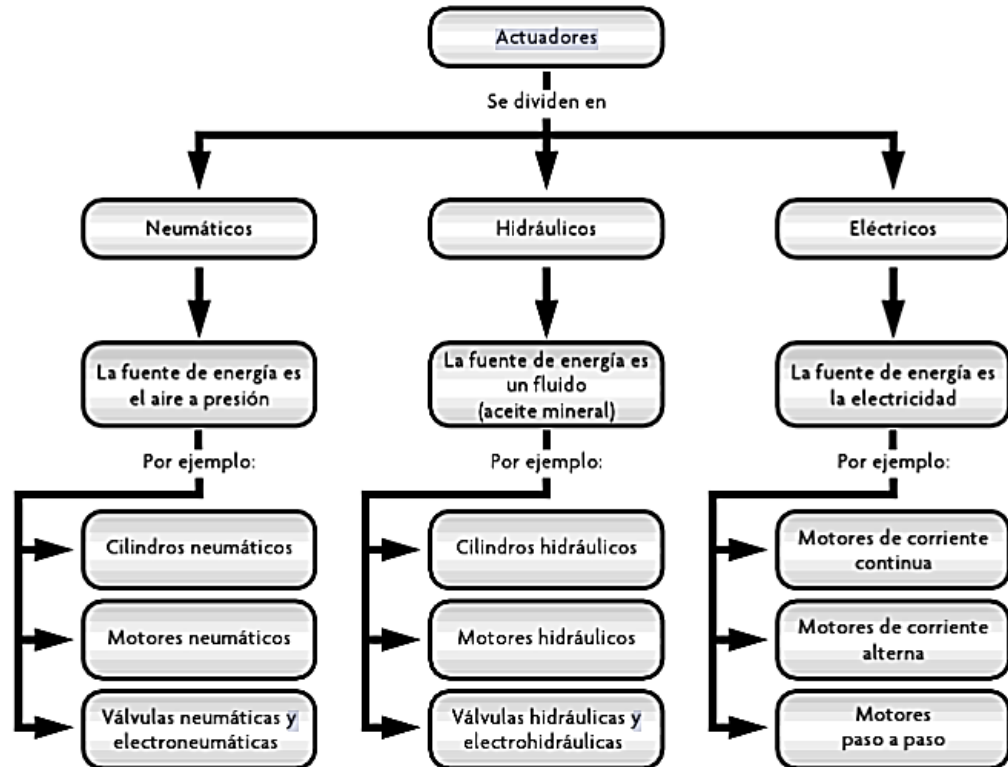
En el modo positivo, el sensor se activa de forma que el controlador envía una señal que permite que el eje suba y haga un empalme con el contacto que se encuentra normalmente cerrado. En el modo negativo, el sensor realiza el proceso contrario al anterior, haciendo que el eje se desplace hacia abajo y se realice el desempalme de los contactos y a su vez cierre el circuito.

5.5 ACTUADORES

Los actuadores se definen de la siguiente forma “Un actuador es un dispositivo con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo sobre un elemento mecánico, a partir de la transformación de energía”²⁷. Los actuadores generalmente se pueden clasificar dependiendo del tipo de energía utilizada o por el tipo de movimiento que genera, cuando se habla del tipo de energía que utilizan los actuadores se pueden clasificar de acuerdo al diagrama de la Figura 18.

²⁷ CORONA, Leonel, ABARCA, Griselda, CARREÑO, Jesús. Sensores y Actuadores aplicaciones con Arduino. México: Grupo editorial Patria, 2014, P.25.

Figura 18. Diagrama de clasificación de actuadores.



Fuente: CORONA, Leonel, ABARCA, Griselda, CARREÑO, Jesús. Sensores y Actuadores aplicaciones con Arduino. México: Grupo editorial Patria, 2014, P.25.

5.5.1 Motores

Los motores se denominan usualmente como un elemento sistemático de una maquina o proceso que es capaz brindar un funcionamiento constante a un conjunto de equipos conectados directa o indirectamente dentro de un sistema. Este sistema podría hacer funcionar cualquier elemento mediante la transformación de energías eléctricas, combustible, etc. en energía netamente mecánica. Dentro de las características generales más importantes de este tipo de motores se encuentran:

- Rendimiento.
- Velocidad nominal o de poco giro.
- Potencia
- Estabilidad

5.5.1.1 Motor Paso a Paso

Son elementos electromecánicos, rotativos, incrementales que convierten pulsos digitales o impulsos eléctricos en rotación mecánica. La rotación de estos dispositivos es directamente proporcional al número de pulsos enviados y su velocidad es variable de acuerdo con la frecuencia de los pulsos²⁸.

La operación de estos motores es en configuraciones de lazo cerrado y teniendo en cuenta su tamaño brindan un torque diferente a bajas velocidades. Este tipo de motores brindan diferentes beneficios:

- Diseño efectivo a bajo costo.
- Poco mantenimiento, sin escobillas.
- Alta confiabilidad.
- En configuración lazo abierto, no hay necesidad de realimentación.

Existen varios tipos de motores paso a paso, pero estos están divididos en tres categorías como se muestra en el cuadro 8:

²⁸ JENNINGS, S. (2002). Motores paso a paso. Informador Técnico, 65, 47-58. [en línea]
<http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/download/899/988>

Cuadro 8. Categorías de Motores Paso a Paso

<p>Motor De Reluctancia Variable o V.R:</p> <p>Es un dispositivo que tiene inmerso un rotor y un estator que manejan un número de dientes diferentes entre sí. El rotor no tiene torque de detención, lo que produce que este gire libremente y esto se produce debido a que no maneja un magneto permanente. Debido a su armazón pequeño son generalmente usados en aplicaciones industriales. Este tipo de motor se ilustra en la figura 19.</p>	<p>Figura 19. Motor de Reluctancia</p> 
<p>Motor De Magneto Permanente (PM):</p> <p>Es uno de los motores más utilizados sin decir el más utilizado en aplicaciones no industriales. Este motor se conforma por un rotor de magneto con magnetizado radial y un estator similar al motor de reluctancia variable. También son conocidos como motores de "polo de Urías" o "claw pole"²⁹. En la figura 20 se ilustra este tipo de motor.</p>	<p>Figura 20. Motor de Magneto</p> 
<p>Motor Híbrido:</p> <p>Al igual que el motor de magneto permanente es muy usado en la industria, originalmente utilizado como motor PM (imanes permanentes) de baja velocidad y sincrónico. La construcción de este es una combinación híbrida de los diseños V.R. y P.M. Este motor consiste en un rotor de tres partes (apilador simple) y un estator dentado, estos dos son separados por una magneto magnetizada permanentemente, que permiten una alta resolución a la hora de la ejecución de los pasos³⁰. En la figura 21 se ilustra este tipo de motor.</p>	<p>Figura 21. Motor Tipo Híbrido</p> 

Fuente: Elaboración propia

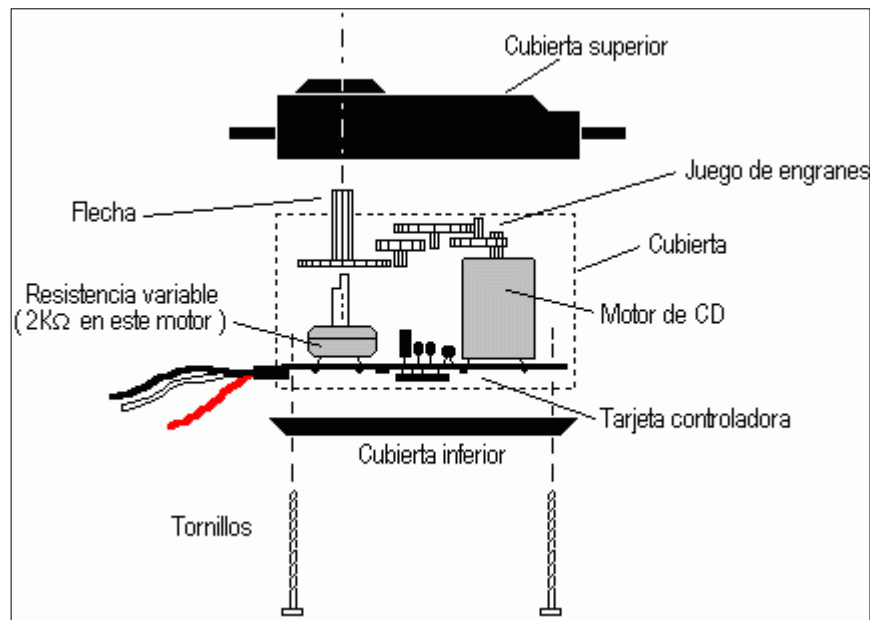
²⁹ Ibid., P.2

³⁰ Ibid., P.3

5.5.1.2 Servomotor

Es un dispositivo pequeño que puede ser controlado tanto en velocidad como en posición, así mismo este tiene un eje de salida, que puede colocarse en diferentes posiciones angulares predefinidas, las cuales son especificadas al servo mediante señales codificadas. El funcionamiento del servo viene dado por algunos circuitos de control y un potenciómetro el cual está conectado al eje de salida, para el óptimo funcionamiento del circuito de control es necesaria una señal de control modulada como lo es PWM (Modulación por ancho de pulsos). En la figura 22 se muestra la estructura de un servomotor.

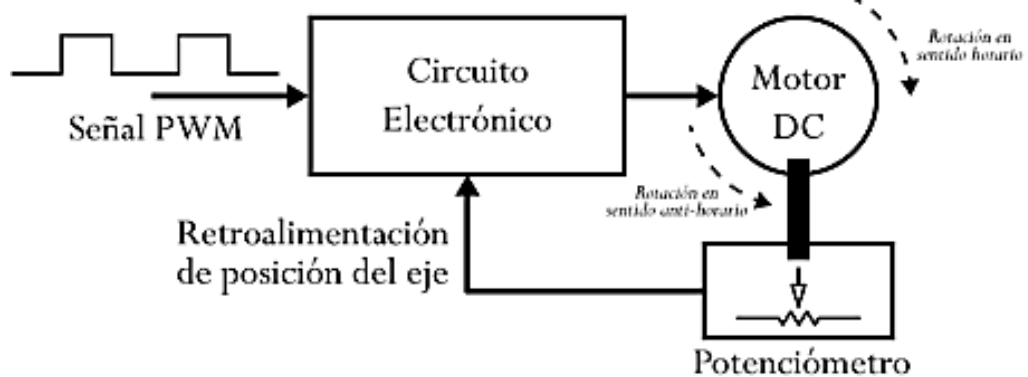
Figura 22. Estructura Mecánica Servo



Fuente: ALONSO, German, Motores Servo, P.1, [en línea] <<http://arduinoobot.pbworks.com/w/page/10175781/Motores%20Servo>>

Dentro de la estructura lógica del servo se logra ver que este recibe una señal de entrada PWM la cual tiene que ser procesada por el circuito electrónico y este a su vez tiene que enviarle una señal legible al motor DC. El eje de dicho motor se encuentra acoplado a un potenciómetro el cual permite la generación de un divisor de voltaje. Este voltaje de salida varía en función de la posición del eje del motor DC, lo que permite que el circuito de control pueda realimentarse con la posición del motor en un momento dado como se ilustra en la figura 23. Este sistema es denominado lazo cerrado.

Figura 23. Diagrama de Bloques Servo



Fuente: GARCÍA, Antony, ¿Qué es y cómo funciona un servomotor?, 2016, [en línea] <<http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>>

5.6 TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS RECICLABLES

Para mitigar el impacto ambiental producido por la generación de residuos en los procesos cotidianos a nivel doméstico, institucional e industrial, el tratamiento de residuos se convierte en un proceso que genera muchos retos para la ingeniería, la cual en las últimas décadas ha diseñado e implementado diferentes métodos de clasificación y separación de residuos con el objetivo de aprovechar los recursos reciclables que se encuentran en estos residuos y minimizar la cantidad de residuos finales que llegan a los vertederos de basuras.³¹

Estos métodos se clasifican en directos e indirectos y son utilizados de acuerdo a las fases del proceso de tratamiento de residuos; los métodos directos están relacionados con las propiedades físicas de los residuos como son la susceptibilidad magnética, la conductividad eléctrica y la densidad. Estos se utilizan en las primeras fases, donde se separa los residuos pesados de los orgánicos, los metales ferrosos de los metales no ferrosos.

Los métodos indirectos están relacionados con la utilización de sensores para la identificación de los diferentes tipos de residuos sólidos resultantes del proceso de separación directa. Estos son utilizados en las últimas fases de proceso de tratamiento de residuos ya que realizan una identificación más especializada de los residuos como, por ejemplo, los diferentes tipos de plásticos, los colores de los vidrios y los diferentes tipos de metales.

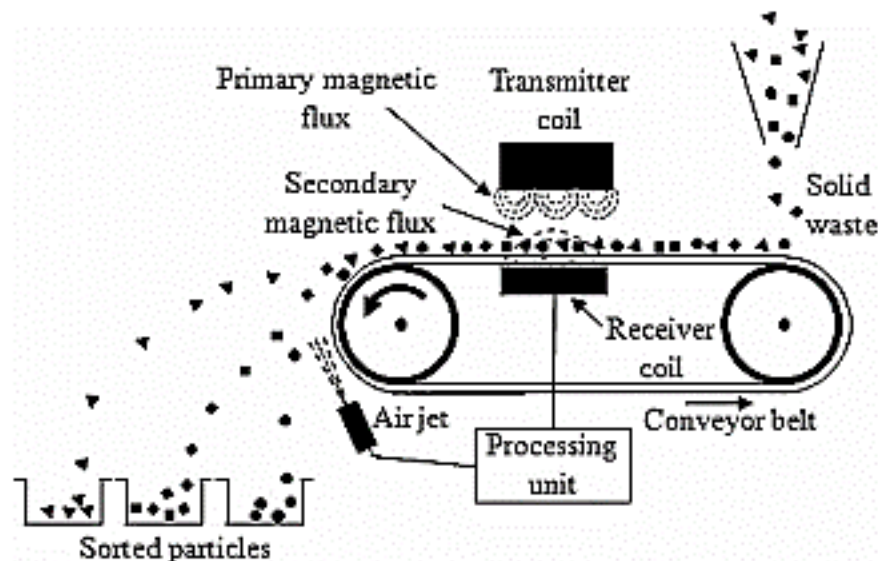
³¹ GUNDUPALLI, S. P., HAIT, S., & THAKUR, A. (2017). A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. *Waste management*, 60, 56-74.

A continuación, se relacionará algunos de los métodos indirectos utilizados en los procesos de separación de residuos.

5.6.1 Clasificación basada en corriente parasita

Este método se utiliza para la identificación de materiales ferrosos. Consiste en hacer pasar los residuos por medio de dos bobinas, una bobina transmisora que genera un flujo magnético primario, una corriente parasita fluye hacia el residuo oponiéndose al flujo secundario generado por la bobina receptora, este último, es el que se mide para detectar el tipo de residuo (véase figura 24).

Figura 24. Clasificación basada en corriente parasita.



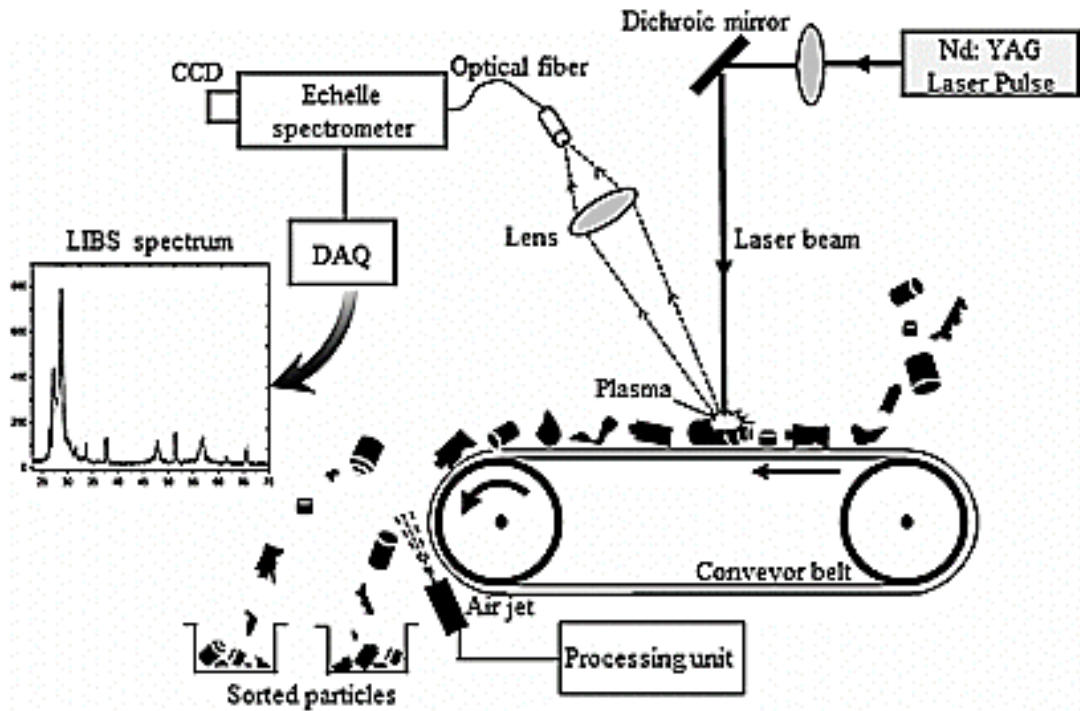
Fuente: GUNDUPALLI, S. P., HAIT, S., & THAKUR, A. (2017). A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. Waste management, P.62.

5.6.2 Espectroscopia de ruptura inducida por láser

Este método es utilizado para la identificación de metales, plástico y madera; este método utiliza un láser de granate de aluminio e itrio dopado con neodimio en estado sólido, un espectrómetro de rango espectral y una unidad de procesamiento para el análisis rápido de datos, los residuos son expuestos al láser, lo que genera un plasma que es capturado por el espectrómetro, el cual realiza un análisis rápido de la información espectral (véase figura 25)³².

³² Fuente: Ibíd., P.61.

Figura 25. Espectroscopia de ruptura inducida por láser.



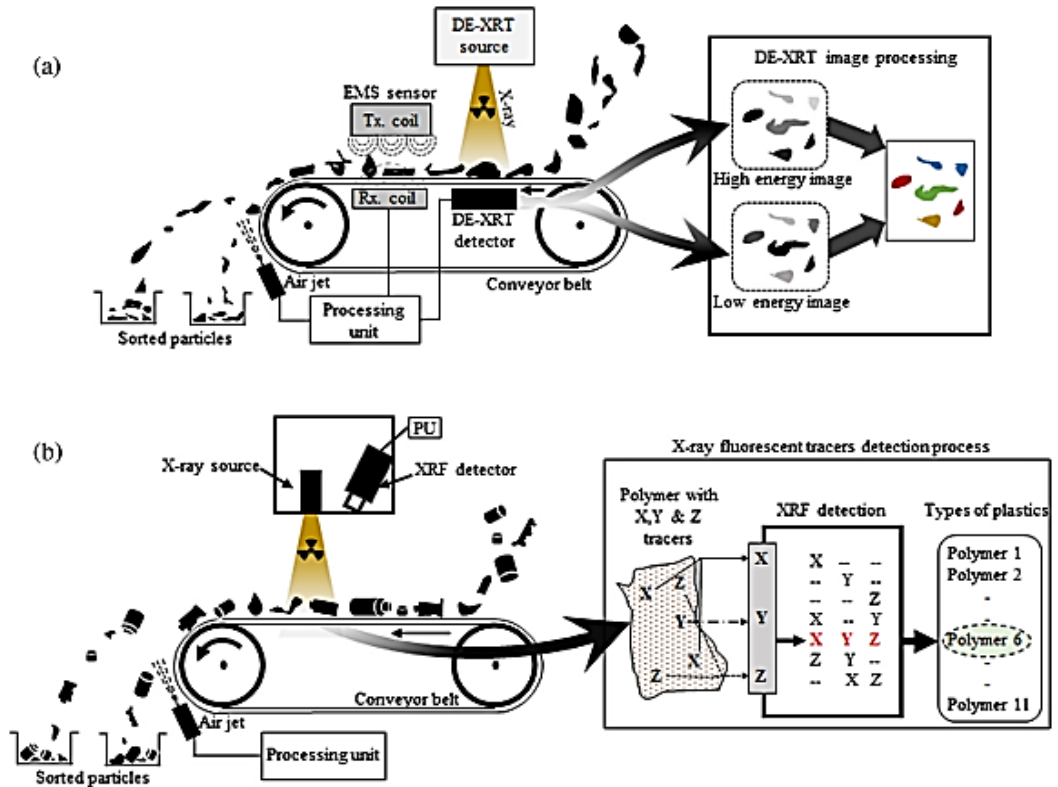
Fuente: Ibíd., P.63.

5.6.3 Clasificación basada en rayos X

Este método indirecto utiliza un haz de rayos x de alta intensidad, un parte de la radiación es absorbida por el material y la otra es tomada por un detector. Esta última se puede analizar para obtener información sobre la densidad atómica del material. Existen dos tiempos de clasificación basada en rayos X, la transmisión de rayos X de energía dual y la fluorescencia de rayos X (véase figura 26)³³

³³ Fuente: Ibíd., p.63-64.

Figura 26. Clasificación basada en Rayos X

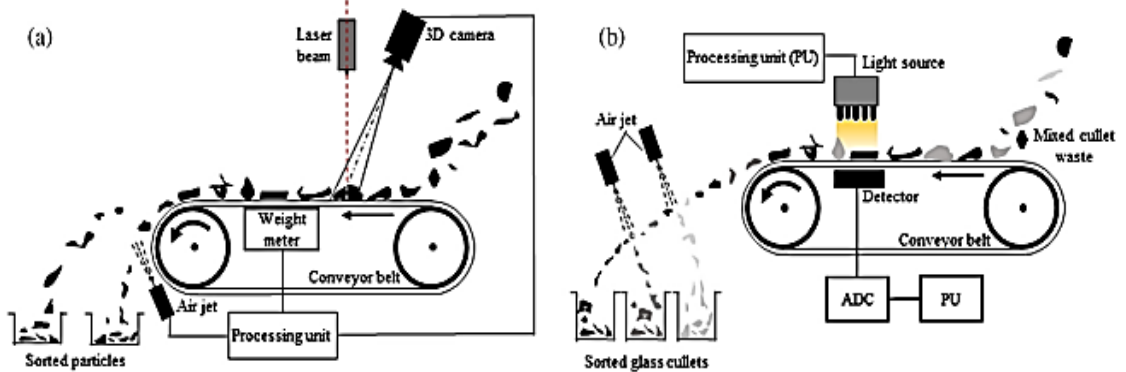


Fuente: Ibíd., p.64.

5.6.4 Clasificación óptica

Este tipo de clasificación utiliza las señales visuales de los residuos tales como la forma, el tamaño, el color y la textura. Los sensores utilizados en este método son basados en cámaras (véase figura 27).

Figura 27. Clasificación óptica.

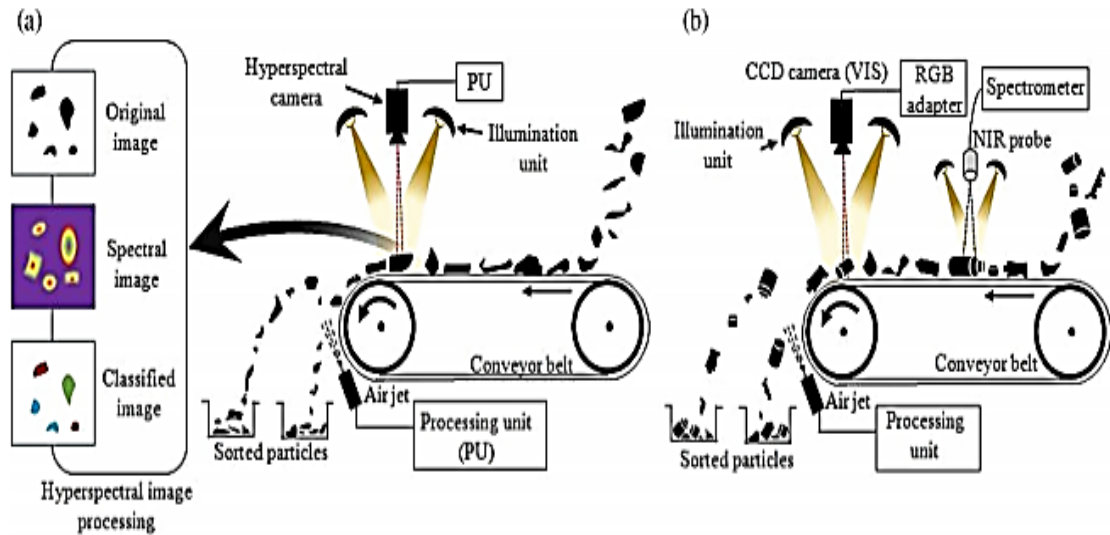


Fuente: Ibíd., p.66.

5.6.5 Clasificación basada en imágenes espectrales

Esta clasificación combina el procesamiento de imágenes y la medición de reflectancia espectral. Estas técnicas de clasificación incluyen infrarrojo cercano, espectroscopia de imágenes visuales e imágenes hiperespectrales (véase figura 28)³⁴.

Figura 28. Clasificación basada en imágenes espectrales.



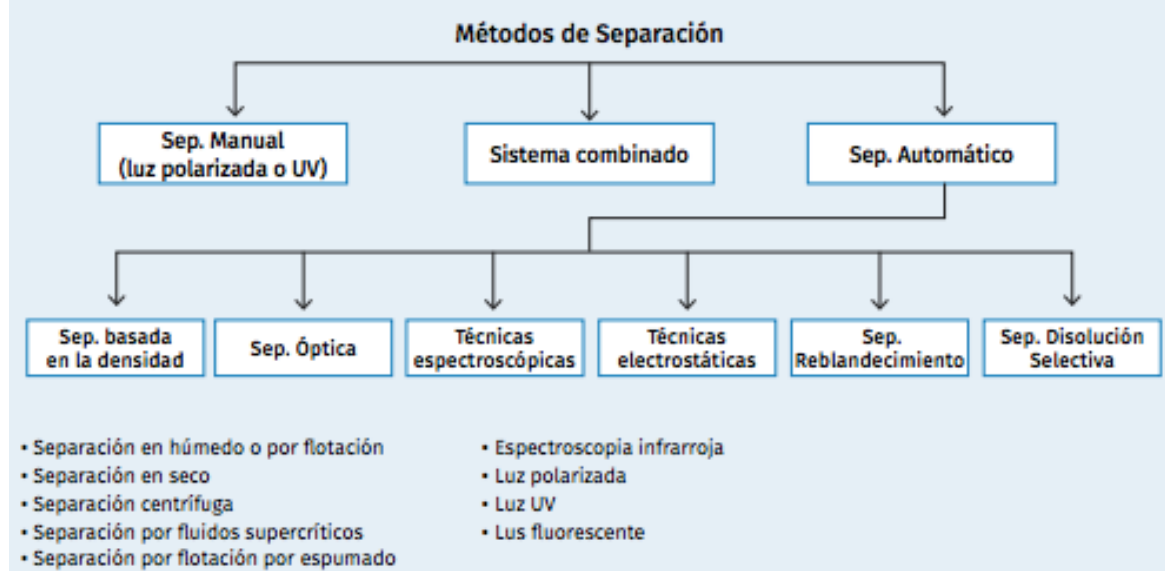
Fuente: *Ibíd.*, p.68.

5.6.6 Separación de plástico

Para la separación de plástico existen diversos métodos tanto manuales como automáticos. En la figura 29 se relacionan los diferentes métodos para la separación de plástico.

³⁴ Fuente: *Ibíd.*, p.66-68.

Figura 29. Métodos de separación de plástico



Fuente: Ibid., P.1

A continuación, se muestran las propiedades en las que se basan para la separación de plástico:

- **Color:** Separación a base de la apariencia del material por parte de los sensores.
- **Tamaño de partícula:** Validación de las propiedades como fuerza, flexibilidad y resistencia. El tamaño de la partícula repercute a la hora de la separación de materiales, entre más pequeña la partícula mucho más fácil la separación.
- **Densidad:** Cada material tiene una densidad característica la cual varía en función de la pureza del mismo.
- **Electromagnetismo:** La separación por medio de este método se da por medio de separadores magnéticos.³⁵

³⁵ Méndez, Adrián. Plastics Technology Mexico, Departamento de Procesos de Transformación, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), 2018. [en línea] <<https://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/c%C3%B3mo-separar-los-plsticos-para-su-reciclado>>

6 METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos planteados en el capítulo 2 del presente trabajo de grado, se estableció una metodología conformada por cinco etapas. Cada etapa estuvo acompañada por sus respectivas actividades. Estas etapas fueron:

6.1 ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN

En esta etapa se recolectó la información acerca de todos los actores del sistema. Para ello se realizaron las siguientes actividades:

- Observación del comportamiento en los puntos ecológicos. En esta actividad se observó los diferentes residuos depositados usualmente en los puntos ecológicos. Esta actividad tuvo como objetivo recolectar información que permitiera posteriormente determinar una muestra de trabajo.
- Definición de la muestra de residuos a trabajar. De acuerdo a la información obtenida en la actividad de observación, se realizó un análisis de los residuos encontrados en los puntos ecológicos y se definió la muestra de trabajo, teniendo en cuenta forma y tamaño del residuo.
- Investigación de los métodos de identificación de la muestra. En esta etapa se investigaron más a fondo los antecedentes relacionados con la separación de residuos. Esto con el fin de conocer el tipo de sensores utilizados para tal fin.
- Definición de requisitos. De acuerdo con las anteriores actividades se realizó la definición de requisitos del sistema.
- Selección de sensores y actuadores. Con base a los requisitos del sistema se realizó la selección de los sensores y actuadores necesarios para cumplir con los objetivos planteados.
- Experimentación de sensores para la detección de los materiales de la muestra. Se realizaron pruebas con diferentes tipos de sensores y diferentes tipos de material para conocer sus respectivas respuestas.

6.2 DISEÑO Y ESTRUCTURACIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en la etapa de análisis e investigación se procedió al diseño físico y lógico del sistema. En esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

- Diseño estructural del sistema. En esta actividad se diseñó toda la parte física del sistema. Esta actividad se dividió en tres partes. En la primera parte se diseñó el sistema de entrada de los residuos. En la segunda parte, se diseñó la estructura de almacenamiento. Y por último se diseñó el módulo de transporte.
- Diseño de los lazos de control. En esta actividad se realizó el diseño lógico del sistema y se definieron los sensores de control y los respectivos actuadores.
- Realización del diagrama de flujo del sistema. Esta actividad tuvo el fin de establecer la rutina de trabajo del sistema para posteriormente realizar la programación de este.
- Diseño electrónico. En esta actividad se realizó el diseño electrónico teniendo en cuenta los diferentes componentes de entrada y salida del sistema, también se tuvo en cuenta los componentes pasivos necesarios para el acondicionamiento de señales.

6.3 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

En esta etapa se realizó el montaje físico del sistema de control de acuerdo con el diseño predefinido en la etapa anterior. Las actividades realizadas en esta etapa fueron:

- Construcción estructural, en esta actividad se construyó la estructura de soporte para el sistema de entrada y transporte, así mismo el módulo de almacenamiento.
- Adecuación del sistema de entrada. En esta actividad se realizó la adecuación de un tubo con los diferentes sensores para la identificación de los materiales y del sistema de compuerta para la colocación del residuo en el contenedor.
- Ensamble del sistema de transporte. En esta actividad se realizó el montaje de la guía lineal con sus respectivo motor y sensores de posición.

- Programación del controlador. En esta actividad se realizó la transcripción del diagrama de flujo realizado en la etapa de diseño, a un lenguaje de programación propio del controlador definido.
- Elaboración del PCB. Siguiendo el diseño electrónico se elaboró el esquema PCB principal para la conexión de entradas y salidas con el controlador.

6.4 PRUEBAS

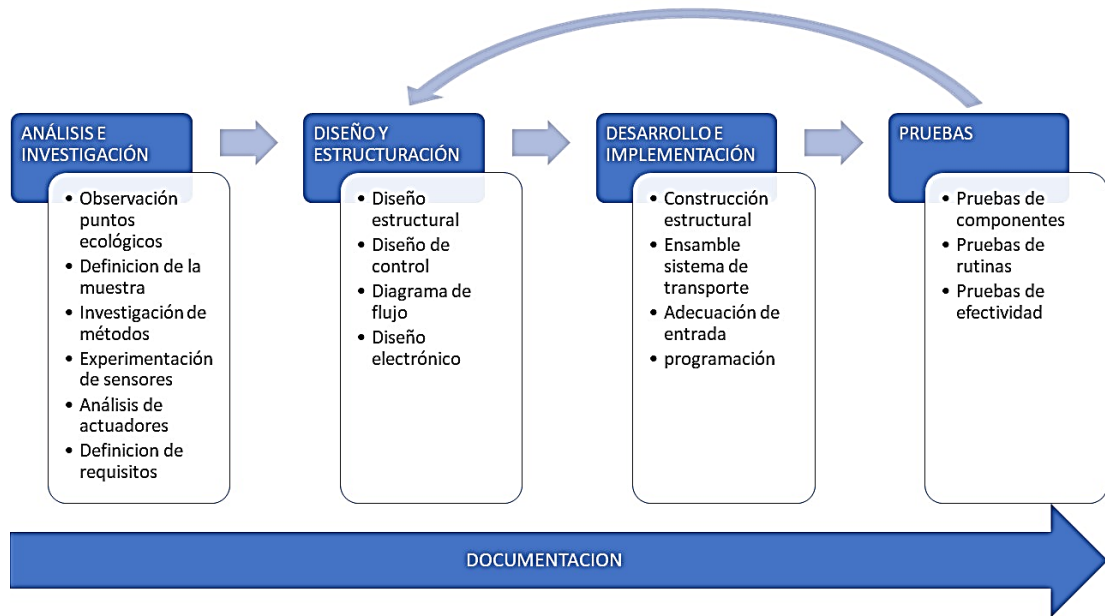
Finalmente, se realizaron las pruebas de funcionalidad del sistema de control y las pruebas de efectividad de este. Las actividades realizadas en esta etapa fueron:

- Pruebas de componentes del sistema. En esta actividad se probaron los diferentes sensores y actuadores del sistema para garantizar el óptimo desempeño de este.
- Pruebas de rutinas. En esta actividad se probaron diferentes escenarios para determinar posibles fallas en los algoritmos del sistema.
- Prueba de eficacia. Esta actividad tuvo como objetivo definir el porcentaje de efectividad en la identificación de los diferentes tipos de residuos definidos.

6.5 DOCUMENTACIÓN

Paralelamente a las diferentes etapas de la metodología, se realizó la documentación pertinente para cada actividad, la cual está contenida en el presente documento. En la Figura 30 se muestran las diferentes etapas de la metodología con sus respectivas actividades, también se observa una realimentación de la etapa de pruebas hacia la etapa de diseño. Esta realimentación se definió para corregir posibles fallas del sistema detectadas en la etapa de pruebas.

Figura 30. Diagrama metodológico del trabajo de grado



Fuente: Elaboración propia.

7 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

De acuerdo con la metodología planteada en el capítulo anterior, en este capítulo se documenta toda la información obtenida en la etapa de análisis e investigación. La información recolectada se utilizó para definición de los parámetros principales y condiciones apropiadas para el óptimo funcionamiento del sistema.

7.1 OBSERVACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PUNTOS ECOLÓGICOS

Para la definición de la muestra de trabajo y características físicas del sistema, se analizó el comportamiento en los puntos ecológicos de la Universidad Católica de Colombia. En la actualidad la universidad cuenta con distintos tipos de contenedores para residuos, por ejemplo, en los salones cuenta con un solo contenedor para todo tipo de residuo, los más comunes son el papel, viruta de lápiz y uno que otro residuo orgánico. Otro tipo de contenedor y en el cual se enfocó la observación son los denominados puntos ecológicos como los mostrados en la Figura 31.

Figura 31. Puntos ecológicos Universidad Católica de Colombia.



Fuente: Elaboración propia.

En estos puntos ecológicos se observó en primer lugar su estructura física, la cual está compuesta en su totalidad de plástico, sus dimensiones son 1 metro de largo por 0.5 metros de ancho y 0.8 metros de alto, las cuales están divididas en dos grandes contenedores que a su vez están divididos en dos compartimentos pequeños para un total de 4 entrada posibles. Estas entradas están identificadas

con una leyenda del tipo residuo a depositar y poseen un apoyo visual con el ejemplo del residuo y el color según la GTC-24.

En segundo lugar, se realizó la observación de los residuos arrojados en los diferentes contenedores. A pesar de que cada entrada está identificada con el tipo de residuo que debe ir en cada contenedor, se observó que no es respetada por el usuario, lo que hace deficiente el proceso de separación en la fuente. En la Figura 32 se muestra el comportamiento de uno de los puntos ecológicos observados con respecto al tipo de residuo arrojado para cada entrada.

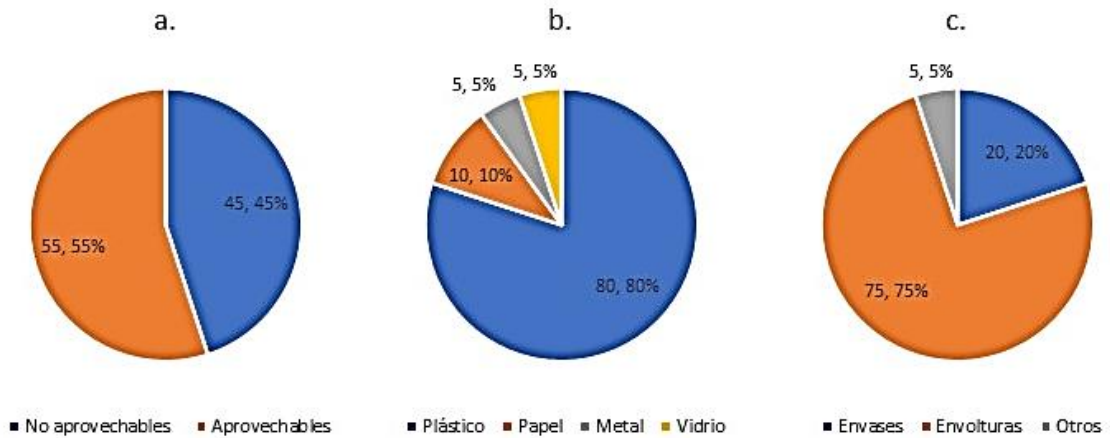
Figura 32. Comportamiento de los puntos ecológicos.



Fuente: Elaboración propia.

Por último, se observó los porcentajes para cada tipo de residuo según las siguientes clasificaciones. En la primera clasificación se tuvo en cuenta el porcentaje de residuos por su gestión (aprovechables y los no aprovechables); en la segunda clasificación se mira el porcentaje por tipo de residuo (plástico, vidrio, metal y papel) contenidos en los residuos aprovechables y como última clasificación se tuvo en cuenta la forma del residuo (envase, envoltura y otros). En la Figura 33 se muestra los resultados obtenidos para cada una de las clasificaciones de acuerdo con lo observado en 5 puntos ecológicos.

Figura 33. a) Porcentaje de residuos según su gestión. b) Porcentaje según el tipo de residuo. c) Porcentaje según la forma.



Fuente: Elaboración propia.

7.2 DEFINICIÓN DE LA MUESTRA DE RESIDUOS A TRABAJAR

Dada la complejidad que involucra el tratamiento de residuos, debido a la numerosa presentación de estos y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la observación de los puntos ecológicos, se limitó la muestra de los residuos a trabajar según el cuadro 9.

Cuadro 9. Muestra de residuos de trabajar.

Tipo de residuo	Presentación	Ejemplos
Plástico	Botella	Bebidas gaseosas entre los 200 ml a 600 ml
Vidrio	Botella	Envases no retornables de bebidas entre los 200 ml a 600 ml
Papel cartón	Caja	Cajas de jugos en tetra pack ente los 200 ml a 600 ml
Metal	Lata	Latas de productos de bebidas entre los 200 ml a 600 ml

Fuente: Elaboración propia.

7.3 INVESTIGACIÓN DE LOS MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Teniendo en cuenta el capítulo de antecedentes y el marco teórico del presente documento, a continuación, se presenta un resumen de las tecnologías investigadas en el campo de la clasificación de residuos. En el anexo A se denotan las características más relevantes de cada tecnología.

7.4 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Ya definida la muestra de trabajo y teniendo una vista general de las diferentes tecnologías para la clasificación de residuos, se definieron los siguientes requerimientos que debe cumplir el sistema.

- Su diseño y dimensiones deben ser similares a los puntos ecológicos existentes.
- El sistema debe contar un contenedor para cada tipo de residuo.
- Se debe garantizar una fuente de energía sin interrupciones para los diferentes componentes del sistema.
- El sistema debe contar con una sola entrada para todos los tipos de residuos.
- Por ningún motivo el usuario podrá depositar los residuos directamente a los contenedores.
- El sistema debe detectar los materiales definidos en la muestra de trabajo
- Los residuos deben ser colocados adecuadamente y de forma automática por el sistema en los diferentes contenedores.
- El sistema debe supervisar el nivel de los contenedores.
- Si algún contenedor está a su máxima capacidad, el sistema debe evitar que se sigan ingresando residuos al sistema.
- El sistema debe evitar el ingreso de residuos cuando el sistema esté ocupado realizando la identificación y clasificación de otro residuo.
- El sistema debe detectar el ingreso de un residuo de manera automática.
- El sistema de control debe estar cerrado totalmente.

Por otra parte, una condición para la entrada de residuos al sistema es que estos estén totalmente vacíos y libres de otros residuos como envolturas de paquete o servilletas. Para los productos en tetra pack, los cuales se componen de diferentes tipos de material como cartón y aluminio, se clasificarán en el tipo de residuo papel-cartón debido a que su porcentaje de fabricación en su mayoría es en cartón.

Las condiciones de ambiente para la correcta operación del sistema están limitadas para sitios cubiertos, otros factores de ambiente que se deben tener en cuenta son relacionados en el cuadro 10:

Cuadro 10. Ambientes de operación.

Variable	valor
Temperatura	0 – 40°C
Humedad relativa:	<90% Rh

Fuente: Elaboración propia.

7.5 SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES

Teniendo en cuenta los requerimientos planteados en el anterior numeral, se definieron los sensores y actuadores con las características correspondientes para el cumplimiento de los requerimientos. En el cuadro 11 se muestran los diferentes sensores y actuadores con su respectiva justificación.

Cuadro 11. Componentes del sistema.

Componente	Características	Justificación
Sensor capacitivo – (CR30-15DP)	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de sensado: 15mm • Alimentación: 12 a 24 VDC • Tipo de salida: digital 	Se definió el sensor capacitivo con mayor alcance en el mercado para identificar los materiales de plástico, vidrio y papel.
Sensor inductivo – (PR30-15DP)	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de sensado: 15mm • Alimentación: 12 a 24 VDC • Tipo de salida: digital 	Se definió el sensor inductivo con mayor alcance en el mercado para identificar los materiales de metal.
Sensor óptico – (TCRT5000)	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de sensado: 25mm • Alimentación: 3.3 a 5 VDC • Tipo de salida: analógica y digital. 	Se definió un sensor óptico de salida analógica para identificar materiales de plástico, vidrio y papel.
Sensor de fuerza – (SEN0160)	<ul style="list-style-type: none"> • Peso de sensado: 1 Kg • Alimentación: 3.3 a 5 VDC • Tipo de salida: analógica. 	Se definió un sensor de fuerza de salida analógica para identificar materiales de plástico, vidrio y papel.
Motor paso a paso - (NEMA 17)	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad: 100 RPM • Alimentación 12 VDC • Torque 4 Nm 	Se seleccionó un motor paso a paso para generar el desplazamiento del sistema de banda transportadora.
Servomotor – (MG90S y MG995)	<ul style="list-style-type: none"> • Angulo: 180° • Alimentación 5 VDC • Torque: 1.8 Kg-cm 	Se seleccionó un servomotor para el control en la entrada del sistema y para la apertura-cierre de la compuerta principal del sistema clasificador.
Sensor final de carrera – (KW11-3Z)	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación: 5 A, 250 VAC • Resistencia: $\leq 50 \text{ m}\Omega$ 	Se seleccionó el sensor final de carrera para indicar al motor el detenimiento del sistema.
Sensor Ultrasónico – (HC-SR04)	<ul style="list-style-type: none"> • Distancia de sensado: 2 a 400 cm. • Alimentación: 5V • Velocidad: 40 Hz 	Se seleccionó el sensor ultrasónico para realizar el monitoreo de las cuatro canecas del sistema, posterior a la deposición del material en una caneca.

Fuente: Elaboración propia.

7.6 EXPERIMENTACIÓN CON SENSORES

Para lograr la caracterización de cada material de la muestra, se tomó cada sensor seleccionado y se expuso a diferentes muestras por cada material, los resultados obtenidos para cada sensor fueron los siguientes.

Para los sensores digitales (capacitivo e inductivo) al tener únicamente dos estados, la caracterización consistió en la detección o no del material, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 12. Cabe aclarar que los siguientes resultados son obtenidos para un ajuste de sensibilidad fijo en el sensor capacitivo.

Cuadro 12. Resultados pruebas sensores digitales.

Material / Sensor	Capacitivo	Inductivo
Plástico	No detecta	No detecta
Vidrio	Si detecta	No detecta
Papel (Tetrapak)	Si detecta	Si detecta
Metal	Si detecta	Si detecta

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los resultados anteriores se determinó los siguientes condicionales para la identificación de los materiales:

- Si ambos sensores detectan la presencia de un residuo entonces el residuo es metal o papel (Tetrapak).
- Si ambos sensores no detectan la presencia de un residuo entonces el residuo es plástico.
- Si el sensor capacitivo detecta y el sensor inductivo no detecta entonces el residuo es vidrio.

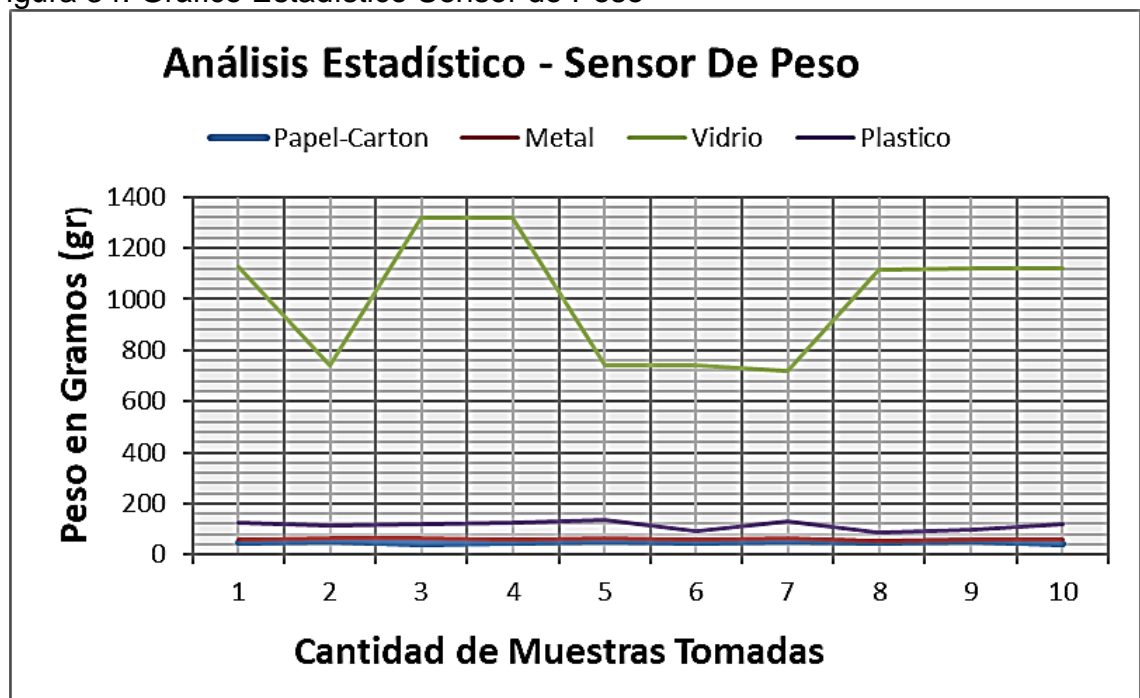
Para los sensores análogos (fuerza y ópticos) se tomó un total de 10 muestras para cada tipo de material, los resultados se observan en las tablas 1 y 2 para el sensor de fuerza y óptico respectivamente y se graficó estos resultados para tener un apoyo visual en la caracterización de cada material. Las gráficas se muestran en las Figuras 34 y 35 que corresponde al sensor de fuerza y óptico respectivamente.

Tabla 1. Peso (gr) de diferentes muestras de cada material medidos con una celda de carga

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Papel-cartón	48	55	44	47	51	46	55	49	53	44
Metal	61	62	62	57	62	57	63	56	61	60
Vidrio	1125	740	1320	1319	739	740	719	1115	1118	1120
Plástico	125	114	118	124	138	90	132	89	97	118

Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. Gráfico Estadístico Sensor de Peso



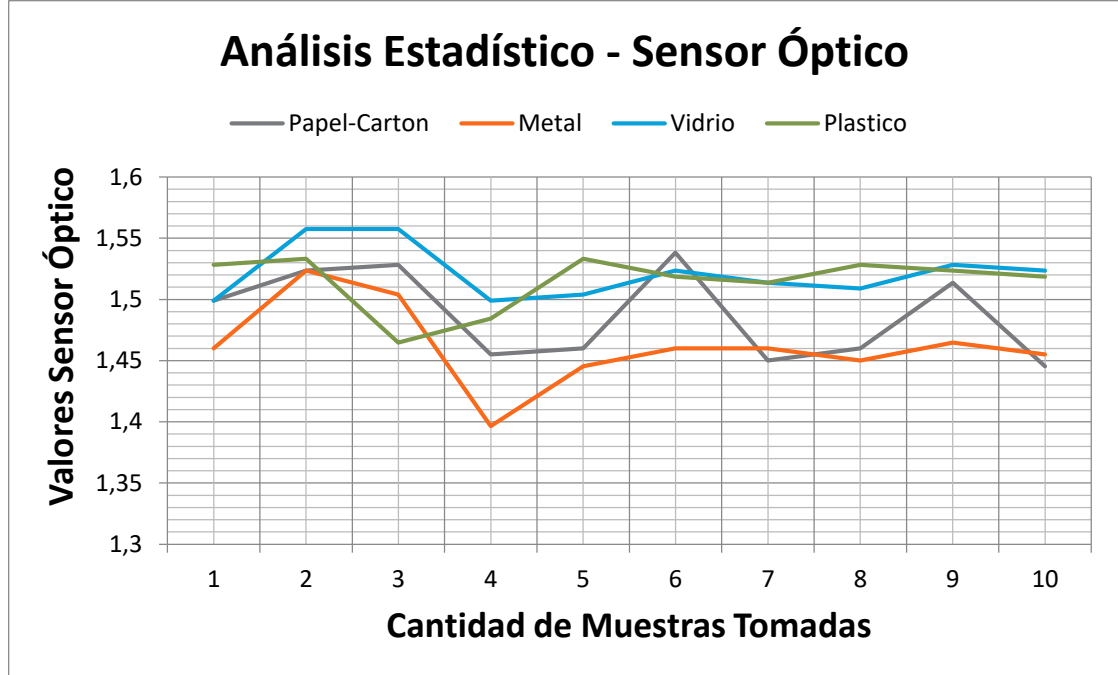
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. Prueba de Eficacia Sensor Óptico (dada en Voltios)

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Papel-cartón	1,5	1,5	1,53	1,46	1,5	1,5	1,45	1,46	1,51	1,45
Metal	1,46	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5	1,46	1,45	1,46	1,46
Vidrio	1,5	1,6	1,56	1,5	1,5	1,5	1,51	1,51	1,53	1,52
Plástico	1,53	1,5	1,46	1,48	1,5	1,5	1,51	1,53	1,52	1,52

Fuente: Elaboración Propia

Figura 35. Gráfico Estadístico Sensor Óptico en voltios (v)



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, para el sensor de fuerza se definieron los siguientes condicionales para la identificación del tipo de material:

- Si el peso es menor a 56 gramos entonces el residuo es papel (Tetrapak).
- Si el peso esta entre 56 y 75 gramos entonces el residuo es Metal.
- Si el peso esta entre 76 y 200 gramos entonces el residuo es plástico
- Si el peso es mayor a 200 gramos entonces el residuo es vidrio.

Para el sensor óptico no se encontró ningún patrón de clasificación ya que todos los valores para los diferentes materiales son similares, por tanto, este sensor se utilizó de forma digital para detectar la presencia del residuo en la entrada del sistema.

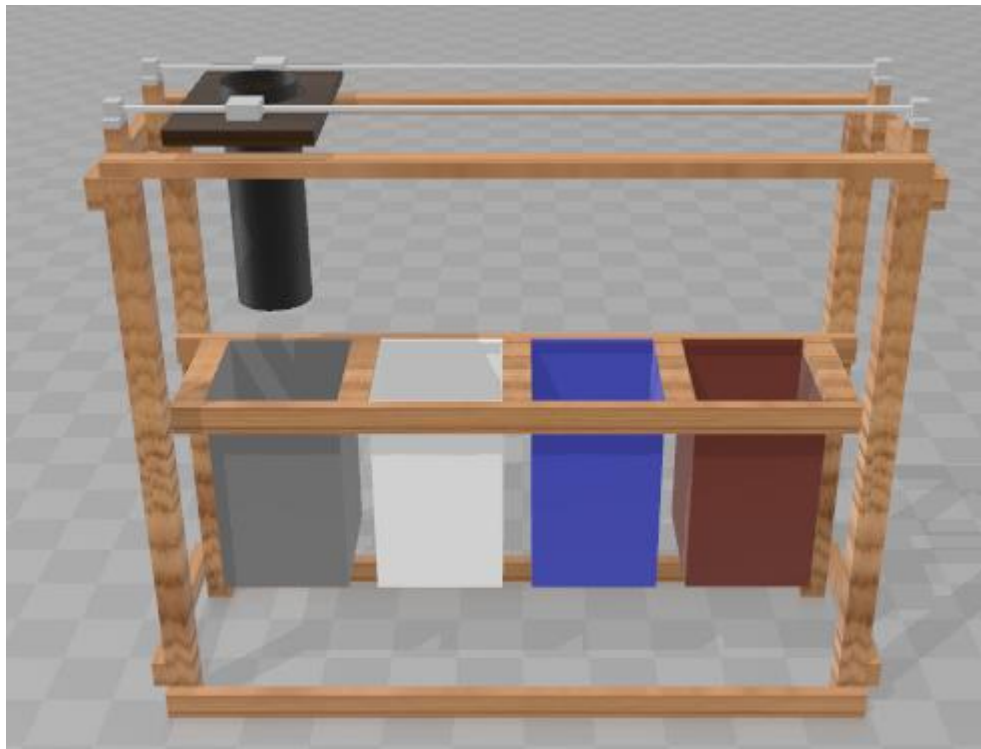
8 DISEÑO

En el siguiente capítulo se documenta los diferentes diseños a nivel físico y lógico del sistema. En primer lugar, se realizó el diseño estructural del sistema, en segundo lugar, se realizó el diseño del sistema de control, en tercer lugar, se realizó un diagrama de flujo del sistema y por último se realizó el diseño electrónico.

8.1 DISEÑO ESTRUCTURAL

Con ayuda del software 3D Builder se realizó un diseño preliminar del sistema. A partir de este diseño se realizaron los ajustes de afinamiento y la colocación de los diferentes sensores y actuadores del sistema. Como se indicó en la metodología, el diseño se dividió en tres etapas, el diseño del módulo de entrada, el diseño del módulo de transporte y el diseño del módulo de almacenamiento. En la Figura 36 se observa el diseño realizado.

Figura 36. Diseño estructural del sistema.



Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño del módulo de entrada se tuvo en cuenta el tamaño de la muestra de trabajo. Al ser la mayoría envases se eligió una forma cilíndrica en la cual, por efecto de la gravedad, se garantiza que el residuo caiga en la base donde se encuentran

los diferentes sensores para la identificación de este. La base del cilindro también se diseñó como un tipo de compuerta para permitir la salida de los residuos y ser colocado en los contenedores.

El diseño del módulo de transporte fue inspirado en las guías lineales empleadas en las impresoras 3D. Este consta de dos guías lineales a lo largo de la estructura permitiendo así recorrer los diferentes contenedores del módulo de almacenamiento. También cuenta con una plataforma rectangular con el propósito de adecuar el módulo de entrada y la circuitería correspondiente al módulo de procesamiento.

Por último, el diseño del módulo de almacenamiento se realizó con base en el diseño de los puntos ecológicos actuales; este consta de cuatro contenedores extraíbles en línea, facilitando el transporte de los residuos.

8.2 DISEÑO DE LOS LAZOS DE CONTROL

De acuerdo con la norma ISA 5.1 se realizó el diseño de los lazos de control, en el cual se definieron 4 lazos de control. En la Figura 37 se observa el diagrama P&ID correspondiente al sistema.

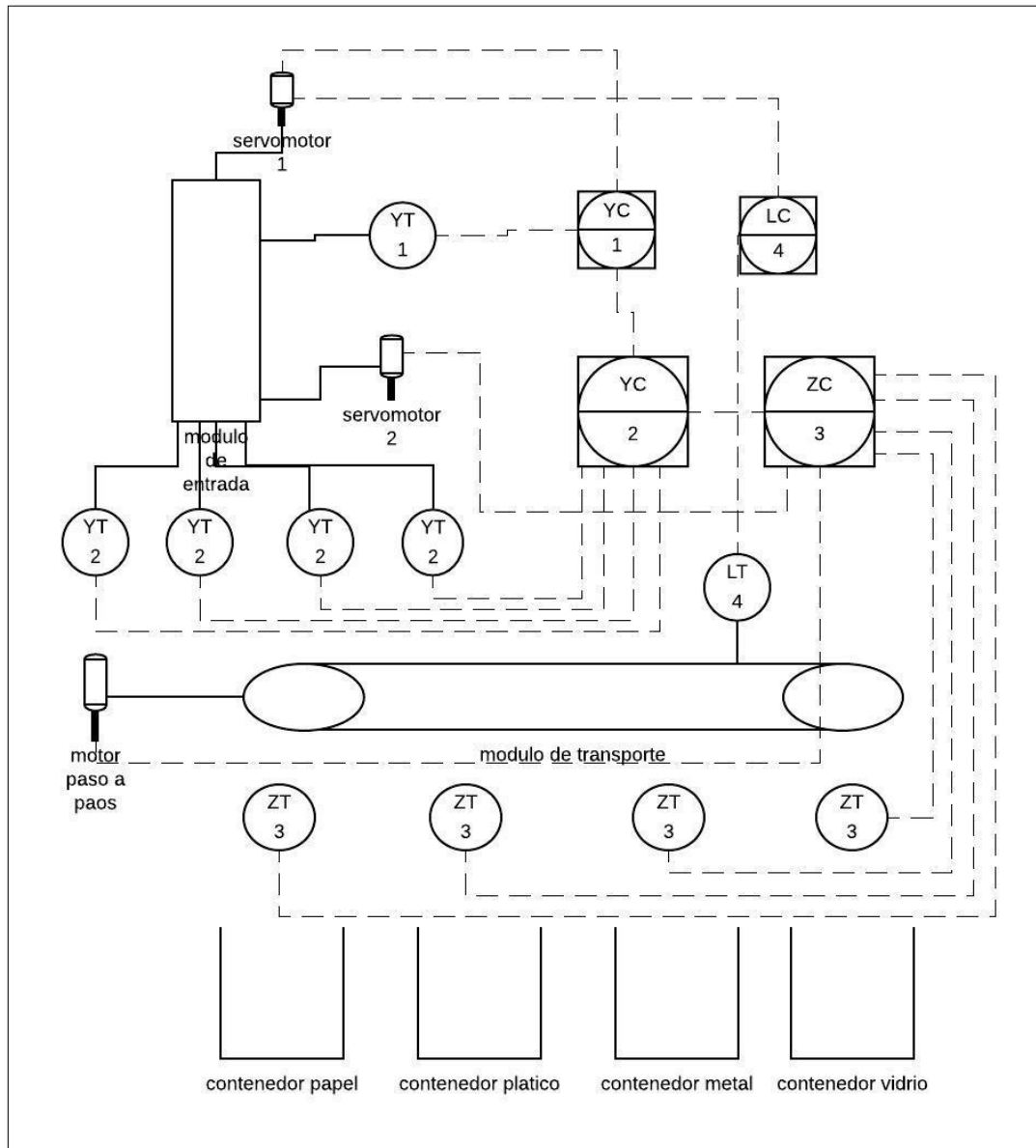
El primer lazo de control consta de un transmisor de eventos que envía una señal eléctrica al controlador de eventos cuando ingresa un residuo al sistema. El controlador de eventos envía una señal eléctrica al servomotor 1 para cerrar la entrada al sistema, también, envía una señal eléctrica al controlador de eventos del lazo 2 para que este inicie su proceso.

El segundo lazo de control inicia al recibir la señal eléctrica del controlador de eventos del lazo 1 en el controlador de eventos del lazo 2. Este controlador recibe la señal de los 4 transmisores de eventos del lazo 2, los cuales devuelven los eventos correspondientes dependiendo del residuo sensado. Finalmente, este último envía una señal eléctrica al controlador de posición del lazo 3.

En el lazo tres, se controla la posición del módulo de transporte. Al recibir la señal del controlador de eventos del lazo 2 en el controlador de posición del lazo 3, este envía una señal eléctrica al motor paso a paso y simultáneamente recibe las señales eléctricas de los transmisores de posición del lazo 3. También, envía una señal eléctrica al servomotor 2 para la apertura y cierre de la compuerta de salida del módulo de entrada.

El cuarto lazo de control consta de un transmisor de nivel el cual envía una señal eléctrica al controlador de nivel del lazo 4, si hay un nivel alto en cualquiera de los contenedores, el controlador de nivel del lazo 4 envía una señal eléctrica al servomotor 1.

Figura 37. Diagrama P&ID



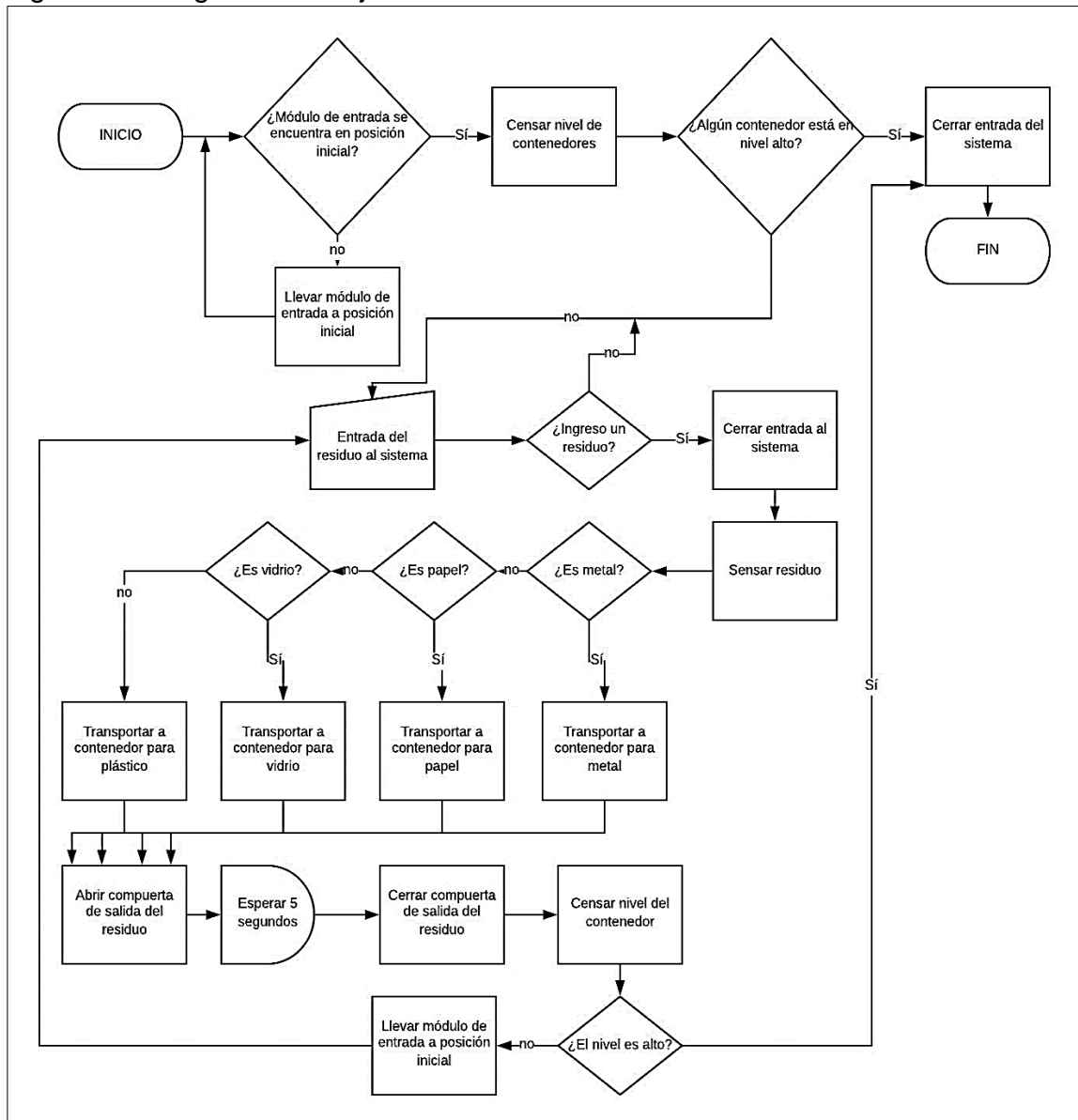
Fuente: Elaboración propia.

8.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA

Como último paso en el diseño del sistema, se elaboró un diagrama de flujo donde se ilustra las diferentes decisiones y procesos que debe tener el sistema. En la primera parte del diagrama de flujo se realiza una comprobación de la posición del módulo de entrada, seguida de esta, se realiza la comprobación de los niveles en los contenedores. Estas comprobaciones tienen como objetivo evitar que el sistema

inicie a trabajar con errores de posición de la entrada y con la capacidad máxima en sus contenedores. En la segunda parte del diagrama de flujo, el sistema monitorea la entrada, al recibir un residuo, este inicia el proceso de sensado y dependiendo del tipo de material, transporta la entrada al contenedor correspondiente. En la última parte del diagrama de flujo, se realiza el descargue del residuo en el contenedor y el sensado del nivel del contenedor. En la Figura 38 se observa el diagrama de flujo del sistema.

Figura 38. Diagrama de flujo.



Fuente: Elaboración propia.

8.4 DISEÑO ELECTRÓNICO

Partiendo del requerimiento inicial, se desarrolló el siguiente diseño electrónico que busca satisfacer las necesidades de todo el sistema de control. Para el desarrollo de este se destinaron 25 elementos electrónicos que van a estar integrados de tal forma que las acciones que se realicen sobre el sistema se den de forma controlada y en cadena durante el proceso de reconocimiento, clasificación y debida colocación de los residuos sobre el punto ecológico.

En el anexo B, se encuentran el montaje simulado y los elementos electrónicos utilizados para el diseño. Los elementos mencionados en las fases de diseño se basan en los nombres de las etiquetas de este montaje simulado.

8.4.1 Fase de regulación

- Los elementos **Acondicionamiento Capacitivo** y **Acondicionamiento Inductivo**, serán los encargados del acondicionamiento eléctrico del **Sensor Capacitivo** y **Sensor Inductivo** en el sistema, estos serán alimentados por 12V. Para el proceso de regulación se utilizará 1 regulador de tensión (L7805) y 2 capacitores de 0.33 μ F y 0,1 μ F para cada sensor.
- El acondicionamiento para los demás elementos del circuito será por medio del **Regulador** (L7805) que será el encargado de brindar los 5V que necesitan los demás elementos electrónicos del sistema.

8.4.2 Fase de control

- Se dispondrá de una tarjeta controladora llamada **Arduino Nano**, la cual será la encargada de la lógica y del procesamiento de todas las señales emitidas por los elementos de control.
- El elemento **Servo Compuerta**, será alimentado con 5V y estará encargado de dejar pasar los residuos al sistema. Cuando haya un residuo dentro del sistema de control la compuerta estará cerrada.
- El elemento **Sensor Óptico 1**, será alimentado con 5V y será el encargado de indicar la entrada del residuo al sistema de control, mediante un 1 lógico.
- Los sensores inductivo y capacitivo tendrán una alimentación de 12V y a su vez tendrán un regulador de tensión para la conexión a la tarjeta controladora.
- El elemento **Sensor Ultrasónico**, estará alimentado con 5V y brindará información del estado de las canecas recicladoras, se generará una alarma con umbral predefinido en la tarjeta controladora.
- El elemento **Celda De Carga**, será alimentada con 5V realizará el sensado de los residuos y enviará la señal análoga a la tarjeta controladora.
- El elemento **Servo Tapa**, estará alimentado con 5V, entrará en funcionamiento cuando los elementos **Celda De Carga**, **Sensor Óptico 1**,

Sensor Capacitivo y Sensor Inductivo hayan enviado los datos digitales y análogos a la tarjeta controladora para saber en cual caneca dejará caer el residuo.

- El elemento **Interruptor Puerta** de mantenimiento tiene un estado normalmente abierto, lo que permite controlar la apertura de la puerta y evitar el funcionamiento del sistema cuando esta se encuentre abierta, permite realizar el reinicio de todo el sistema de control tan pronto esta se cierra.
- Los elementos **Final Carrera 1** y **Final Carrera 2**, estará alimentado con 5V, se ubicarán en los extremos del recorrido del sistema, indicarán la detención del **Motor Paso a Paso** para la posterior apertura de la **Servo Tapa**.
- Los elementos **Sensor Óptico 2** y **Sensor Óptico 3**, estará alimentado con 5V, estarán distribuidos en la mitad del recorrido del sistema, al igual que los elementos **Final Carrera 1** y **2** indicarán la detención del **Motor Paso a Paso** para la apertura de la **Servo Tapa**.
- Los elementos **Motor Paso a Paso** y **Driver Motor Paso a Paso**, estará alimentado con 12V, serán los encargados de generar el desplazamiento del sistema de control de acuerdo con la lógica definida en la tarjeta controladora.

9 IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación del sistema de control se analizaron los diferentes elementos del sistema en busca de obtener un sistema eficaz y capaz de realizar el reconocimiento, clasificación y colocación de los materiales en las canecas respectivas, manteniendo una estructura compacta, estética y amigable al medio ambiente.

9.1 CONSTRUCCIÓN ESTRUCTURAL

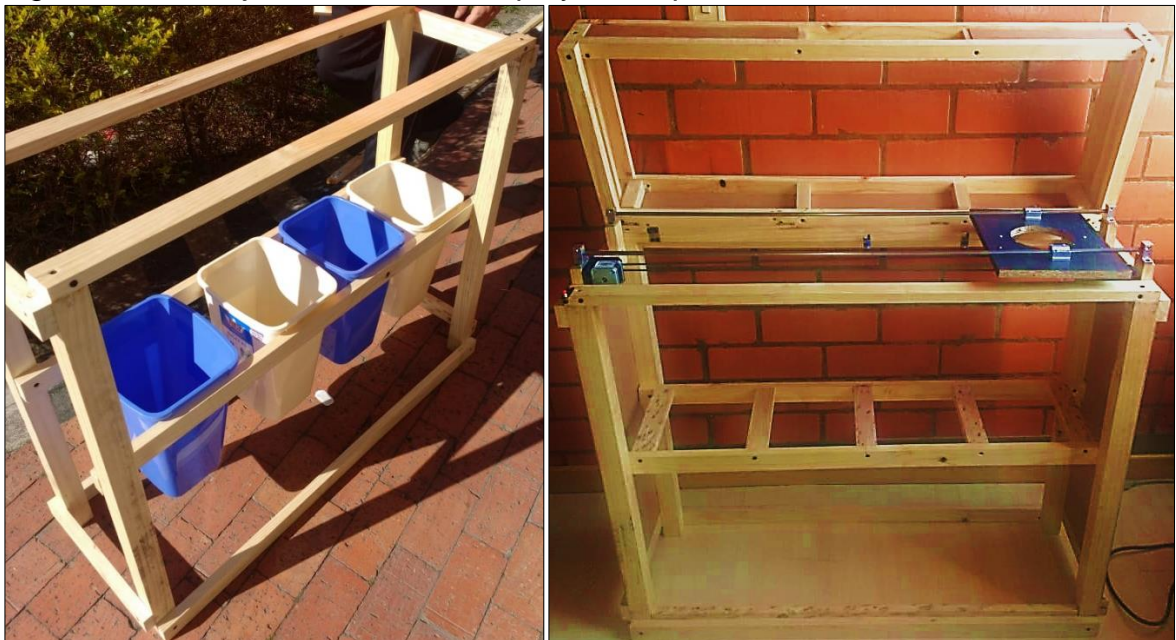
En el montaje estructural o soporte del sistema se tomó el diseño estructural elaborado en el apartado 8.1 (véase Figura 39). Se utilizó madera para poder soportar todo el peso del sistema, el cual comprende de cuatro compartimientos donde se dejarán las cuatro canecas destinadas a almacenar los tipos de materiales destinado a clasificar y se elaboró una tapa removible para el mantenimiento mecánico o electrónico del sistema (véase tabla 3).

Tabla 3. Dimensiones de la Estructura Física

Alto	0.93 m
Ancho	0.36 m
Largo	1.06 m

Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Montaje Estructural sin tapa y con tapa



Fuente: Elaboración propia

9.2 ADECUACIÓN DEL SISTEMA DE ENTRADA

Para definir la entrada del sistema de control se ideó un elemento con una entrada acorde y acotada a los desechos definidos en la muestra de trabajo, donde aparecieron botellas de vidrio, cajas tetra pack de jugo, latas y botellas plásticas de gaseosas cajas de jugo. Dentro de este sistema se encuentran los equipos de control (Sensores capacitivo, inductivo, ópticos, peso, ultrasónico) que realizarán el proceso de análisis, clasificación de los desechos y monitoreo de las canecas del sistema.

En la figura 40 se muestra el proceso de adaptación de los sensores capacitivo, inductivo y de peso sobre la base del sistema de control, que a su vez es la salida de los desechos reciclables del sistema.

Figura 40. Elementos de control



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 41 se muestra la entrada del sistema de control a falta del mecanismo que permite la apertura y cierre del sistema, con la adaptación de los sensores de peso, capacitivo, inductivo y óptico. De igual forma se adapta un embudo con el fin de garantizar que los elementos que ingresan al sistema puedan ser sensados por los tres sensores que se encuentran en la base del sistema.

Figura 41. Entrada del sistema



Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 42 se muestra el acople de los actuadores del sistema de control. En esta entrada se encuentran los diferentes equipos de control que serán adaptados de tal forma que no se interpongan uno del otro. Sensor ultrasónico, capacitivo, inductivo y de peso. Servomotor el cual es el encargado de realizar la apertura y cierre del sistema cuando este lo disponga.

Figura 42. Entrada del sistema con los elementos de control acoplados



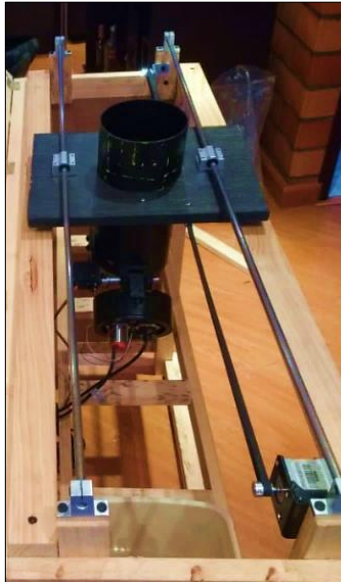
Fuente: Elaboración Propia

9.3 ENSAMBLE DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Para depositar los elementos en las canecas correspondientes, se ideó un sistema con guías lineales de acero que permiten el desplazamiento del sistema de control a lo largo de la estructura que van a ser desplazadas por medio de una correa de extremo a extremo.

El desplazamiento del sistema es horizontal, este movimiento es ejercido por un motor paso a paso que va sujeto desde su eje con correa de 1 metro de longitud hasta una polea que se encuentra del otro costado del motor. Durante el desplazamiento horizontal, se encuentran dos sensores finales de carrera en los extremos del sistema y dos ópticos en la mitad del recorrido horizontal, estos controlan la detención del sistema en sus correspondientes canecas para la disposición final del material sensado. En la figura 43 se muestra el sistema de transporte del prototipo.

Figura 43. Guías lineales, correa y elementos de Control



Fuente: Elaboración propia

9.4 PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR

Como controlador de sistema se eligió un Arduino nano, el cual cubre el número de entradas y salidas necesarias para los componentes del sistema. Arduino provee un compilador de código libre el cual tiene herramientas que fueron muy útiles en la programación del sistema, por ejemplo, el monitor serial proporcionó una visualización de los valores obtenidos por el sensor de peso y el sensor ultrasónico, con esto se logró establecer los valores límites para cada material y la distancia límite de la capacidad de los contenedores.

En el anexo C del presente documento se relaciona el código fuente generado para el control de los componentes del sistema. A continuación, se describe el funcionamiento del código. En la primera parte del código se incluyen las librerías necesarias para el manejo de los servos y el sensor de peso, seguidamente se definen los pines análogos del sensor de peso y se crean dos objetos para el servo de la tapa y el servo de la compuerta. Continuando con la definición de pines, se definen los pines para el driver del motor paso a paso, sensor de ultrasonido, los sensores de posición, el sensor de presencia, el sensor capacitivo y el inductivo. Finalmente se declaran las variables globales que se usarán en la ejecución del código.

En la segunda parte del código se definen los pines para los servos y se declara a cada pin su rol (entrada o salida). Por último, se realiza la preparación del sensor de peso y se define la tara para la colocación de la balanza en ceros. Algunas funciones declaradas para el control de los componentes fueron el control de la tapa

y la compuerta, estas reciben un valor, 0 ó 1, con el que deciden la posición de los servos; el control del motor paso a paso, este también recibe un valor discreto entre 0 y 1 para decidir la dirección de giro; por último, se definió una función para la lectura del nivel de los contenedores, la cual retorna el valor de la distancia en centímetros.

Ya en la función principal del código, se realiza una inicialización del sistema la cual se ejecuta una sola vez al encender el sistema o al resetearlo por acción de la tapa, esta inicialización se encarga de verificar el nivel de los contenedores y de ubicar el módulo de entrada en la posición inicial, finalmente decide si el nivel de los contenedores es aceptable para la operación dejando el sistema en un estado de espera para la entrada de residuos o inhabilitando la entrada al sistema en caso de no ser aceptables los niveles de los contenedores. Si la inicialización no tuvo inconvenientes el sistema entra en un estado de espera, al ingresar un residuo al sistema, este inicia el proceso de sensado mediante condicionales que interactúan con los diferentes sensores dispuestos para este fin, esto da como resultado la posición del contenedor correspondiente para el tipo de residuo y mediante la función de control de motor se lleva el residuo al contenedor. Cuando el sistema de entrada se encuentra en el contenedor correspondiente, se abre la compuerta para dejar salir el residuo y se cierra nuevamente la función de control de la compuerta.

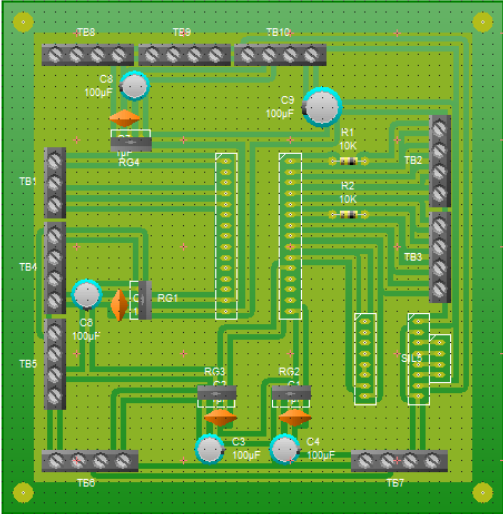
Por último, el código utiliza la función de control de nivel y evalúa si la capacidad del contenedor es aceptable para continuar, de ser así, se ubica el sistema de entrada en la posición inicial y se abre la tapa de la entrada del sistema, si no, el sistema inhabilita la entrada dejando la tapa en posición cerrada.

9.5 ELABORACIÓN DEL PCB

En la Figura 44 se observa el esquema de la placa principal del sistema realizado con el software PCB Wizard³⁶. Para la elaboración del PCB se tuvieron en cuenta las entradas y salidas de controlador ya definidas en el diseño electrónico, la fuente de alimentación y a los componentes necesarios para el acondicionamiento de las señales. Se utilizaron borneras como elemento de conexión para los diferentes sensores, actuadores y entradas de alimentación para el sistema. Para las entradas de los sensores capacitivo e inductivo se realizó la guía hacia los reguladores de señal antes de la conexión a los pines correspondientes en el controlador. Por último, se adecuo el driver del motor paso a paso con sus respectivas salidas al motor.

³⁶ NEW WAVE CONCEPTS. Tutorials and Courseware [en línea] < https://www.new-wave-concepts.com/ed/pw_tutor.html > [citado en 15 de septiembre de 2018]

Figura 44. Placa de circuito principal



Fuente: Elaboración propia.

10 PRUEBAS DEL PROTOTIPO

Como pruebas preliminares del sistema, se calculó la potencia del prototipo tanto en reposo como en operación para determinar el consumo del sistema. En la tabla 4 se relaciona el resumen de los resultados

Tabla 4. Consumo del sistema

ESTADO	POTENCIA (Watts)
Reposo	4 W
Uso	10 W

Fuente: Elaboración propia.

10.1 PRUEBAS DE COMPONENTES

Los componentes del sistema fueron probados paralelamente a la programación del sistema ya que era necesario conocer su comportamiento respecto al código para definir correctamente las rutinas. Las pruebas realizadas con cada componente fueron:

- Para los servomotores se realizaron cambios de posición entre los 0 y 180 grados, de estas pruebas se definió la posición exacta para los estados cerrado y abierto de la tapa de entrada y la compuerta de salida.
- Las pruebas del motor paso a paso consistieron en verificar el sentido de giro de este, lo que permitió definir las rutinas de posicionamiento para evitar un giro en un sentido errado sobre todo en la posición de los finales de carrera.
- Los sensores digitales (ópticos, capacitivo, inductivo y finales de carrera) se probaron de acuerdo a los eventos para cada estado y se midió el voltaje generado en cada estado para comprobar el correcto envío de señal para el uno lógico y el cero lógico.
- Las pruebas realizadas al sensor ultrasónico consistieron en la medición de distancia desde la compuerta del módulo de entrada y el contenedor en sus dos estados (vacío y lleno), con esta prueba se estimó la distancia límite para alertar el sistema.
- Para el sensor de peso, se realizaron pruebas de pesaje de diferentes muestras de residuos, con lo que se comprobó los rangos de pesos implementados en el código.

Las pruebas realizadas fueron satisfactorias ya que el comportamiento de los componentes era el esperado para el correcto funcionamiento del sistema.

10.2 PRUEBAS DE RUTINAS

Las rutinas implementadas en el código fuente fueron probadas realizando simulaciones de posibles situaciones a las cuales podría enfrentarse el sistema. A continuación, se relacionan las pruebas más relevantes.

Para comprobar la inicialización del sistema, una de las pruebas realizadas fue iniciar el sistema con el módulo de entrada en diferentes ubicaciones, para cada posición probada el sistema respondió de forma satisfactoria. Otra prueba realizada fue iniciar el sistema con alguno de los contenedores lleno, también se realizaron pruebas con los contenedores vacíos, para el primer caso el sistema respondió con la inhabilitación de la entrada del sistema y para el segundo caso el sistema respondió con la habilitación del sistema para comenzar a recibir residuos.

Las pruebas realizadas a la rutina principal del sistema, que consta desde la entrada del residuo pasando por la colocación de este en el contenedor y finalizando con la colocación del módulo de entrada en la posición inicial, fueron realizadas simulando un comportamiento ideal para el sistema. En general, el comportamiento del sistema fue bueno. De estas pruebas se derivó las pruebas de eficacia cuyos resultados se relacionan en el siguiente numeral.

10.3 PRUEBAS DE EFICACIA

Para estas pruebas se tomó 10 muestras por cada tipo de material, los resultados se relacionan en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados pruebas de eficacia.

Tipo de material	Unidades identificadas correctamente	porcentaje
Plástico	9	90%
Metal	10	100%
Vidrio	8	80%
Papel	8	80%
Total	35	87%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados anteriores, el sistema cuenta con una eficacia del 87% en la clasificación y separación de residuos.

11 CONCLUSIONES

Se identificaron las diferentes tecnologías para el reconocimiento de materiales reciclables mediante el uso de sensores, muchas de las cuales son utilizadas en grandes centros de gestión de residuos municipales, de estas, se concluyó que, con el uso de sensores inductivos, capacitivos y de peso se logra caracterizar los diferentes materiales de residuos propuestos para la identificación.

De acuerdo a la observación realizada al comportamiento de uso de los puntos ecológicos, se limitó el universo de residuos a envases de bebidas personales ya que las numerosas presentaciones de residuos reciclables imposibilitaban realizar un diseño que logran la identificación de del tipo de material, también, en la presentación de envases personales se encuentran los diferentes tipos de material propuestos para la identificación tales como vidrio, plástico, metal y papel.

Se diseñaron las diferentes interfaces del sistema como su estructura, sus lazos de control, su lógica y su parte electrónica. Este proceso fue de gran importancia ya que en esta etapa se definieron los sensores y actuadores que acompañan al proceso de identificación de los residuos reciclables y posteriormente la fuente de alimentación para todo el sistema.

Se implementó el prototipo del sistema de control automático para la identificación y clasificación de los residuos. De este se concluye que la actividad de separación en la fuente puede hacerse de manera automática pero aún se depende del compromiso de los usuarios para lograr mejores resultados en la separación de residuos.

De las pruebas realizadas al sistema de control se concluyó que el consumo generado es muy mínimo, similar a una bombilla led. Para las pruebas con los diferentes tipos de materiales se logró concluir que el sistema logra una eficacia del 87%, pero ese porcentaje está ligado al bueno uso del sistema.

12 RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Para futuros trabajos a partir de esta investigación se recomienda ampliar el universo de residuos a tratar, teniendo en cuenta sus diferentes tamaños y formas y lograr así, realizar un sistema más robusto que asemeje más al proceso realizado manualmente que hoy en día se tiene para la separación de residuos sólidos.

Por otro lado, se puede adicionar conceptos de IoT que permitan el monitoreo remoto del sistema, dando una gestión de residuos sólidos más eficaz a nivel institucional generando alarmas sobre el nivel de los contenedores y estadísticas que permitan conocer la cantidad y los tipos de residuos que se están produciendo.

De acuerdo a lo anterior, este proyecto podría ser patentado y comercializado generando una nueva alternativa para el compromiso que las instituciones tienen con el medio ambiente y una oportunidad para la creación de empresa.

13 BIBLIOGRAFÍA

- 24HORAS. Creadores: Proyecto Basurero inteligente [en línea] <<https://bit.ly/2vTt7fh>> [citado en 25 de marzo de 2018].
- ALONSO, German, Motores Servo, [en línea] <<http://arduinoobot.pbworks.com/w/page/10175781/Motores%20Servo>>
- BAXTER, L.K. Capacitive Sensing Technology. [en línea] <<https://bit.ly/2xfUMaW>>
- CARACOL RADIO. En Colombia solo se recicla en 17% de las basuras [en línea] <<https://bit.ly/2qjSBxB>> [citado en 15 de septiembre de 2018]
- CATORCE6. OEA destaca prototipo de canecas inteligentes en Colombia [en línea] <<https://bit.ly/2N0UwSN>> [citado en 25 de marzo de 2018].
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. DECRETO 2981 (20, diciembre, 2013). Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Art. 27.
- CONTRALORÍA DE BOGOTÁ. Procedimiento manejo integral de residuos [en línea] <<http://cuon.io/UMAfR>> [citado en 15 de septiembre de 2018].
- CORONA, Leonel, ABARCA, Griselda, CARREÑO, Jesús. Sensores y Actuadores aplicaciones con Arduino. México: Grupo editorial Patria, 2014.
- DANERI, Pablo A., PLC: automatización y control industrial, Editorial Hispano Americana HASA, 2008. ProQuest Ebook Central, [en línea] <<http://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucatolicasp/detail.action?docID=3183744>>
- DAUD, Mohd. BAHRI, Zol. Optimum identification method of sorting green household waste. En: MATEC Web of Conferences [base de datos en línea].78 (2016). [citado en 17 de septiembre de 2018] disponible en proquest.
- GARCÍA, Antony, ¿Qué es y cómo funciona un servomotor?, 2016, [en línea] <<http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>>
- GRANDA, Mercedes, MEDIAVILLA Elena. Instrumentación y Electrónica: Transductores y Acondicionadores de Señal. España: Universidad de Cantabria, 2015, P.353. [en línea] <<https://bit.ly/2TwXjHi>>
- GUNDUPALLI, Sathish. HAIT, Subrata. THAKUR, Atul. A review on automated sorting of source-separated municipal solid waste for recycling. En: Waste management [base de datos en línea]. 60 (2017). [citado en 31 de julio de 2018] disponible en sciencedirect.

IRESIDUO. Nueva planta automatizada para el reciclaje de residuos sólidos urbanos [en línea] <<https://bit.ly/2OMBT5J>> [citado en 01 de abril de 2018].

JENNINGS, S. (2002). Motores paso a paso. Informador Técnico, 65. [en línea] <<https://bit.ly/2PMbERN>>

KARACA, Ali. ERTÜRK, Alp. GÜLLÜ, Kemal. ELMAS, M. ERTÜRK, Sarp. "Automatic waste sorting using shortwave infrared hyperspectral imaging system," 2013 5th Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS), Gainesville, FL, 2013.

LUND, Herbert F, et al. Manual McGraw-Hill de reciclaje. Madrid: McGraw Hill, c1996. 1 v. Manuales McGraw-Hill de ingeniería y ciencia. ISBN 9788448105839.

MÉNDEZ, Adrián. Plastics Technology Mexico, Departamento de Procesos de Transformación, Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), 2018. [en línea] <<https://bit.ly/2Q8onxG> >

NEW WAVE CONCEPTS. Tutorials and Courseware [en línea] <https://www.new-wave-concepts.com/ed/pw_tutor.html> [citado en 15 de septiembre de 2018]

PALLAS, Ramon. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona (España): Marcombo S.A, 2003.

PINILLA, Liliana. Estrategias que logren cambio de comportamientos de las personas que integran una empresa, frente a la clasificación de residuos sólidos. Magíster en Gestion Ambiental. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Estudios ambientales y rurales, 2014.

PÉREZ, Edwin. ARÉVALO, Miguel. LANCHEROS, Diana. Diseño y desarrollo de un sensor para el reconocimiento de materiales a través de la Capacitancia. En: CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN (4 : 2015 : Bogota). Memorias del IV congreso internacional de ingeniería mecatrónica y automatización. 2015.

SEMANA SOSTENIBILIDAD. Bogotá es una de las ciudades que peor maneja su basura [en línea] <<https://bit.ly/2ONWJ53>> [citado en 15 de septiembre de 2018]

SIPSE. Niña Genio inventa un 'basurero para reciclaje automático selectivo' [en línea] <<https://bit.ly/2MrJJ8h>> [citado en 20 de agosto de 2018].

SOSA, Javier, Galgas Extensiométricas – Strain Gages 1, Buenos Aires, Argentina, UNLP, [en línea] <<https://bit.ly/2BnxYby> >

STEEMIT. La Pirámide de Automatización [en línea] <<https://steemit.com/spanish/@autinf/la-piramide-de-automatizacion>>

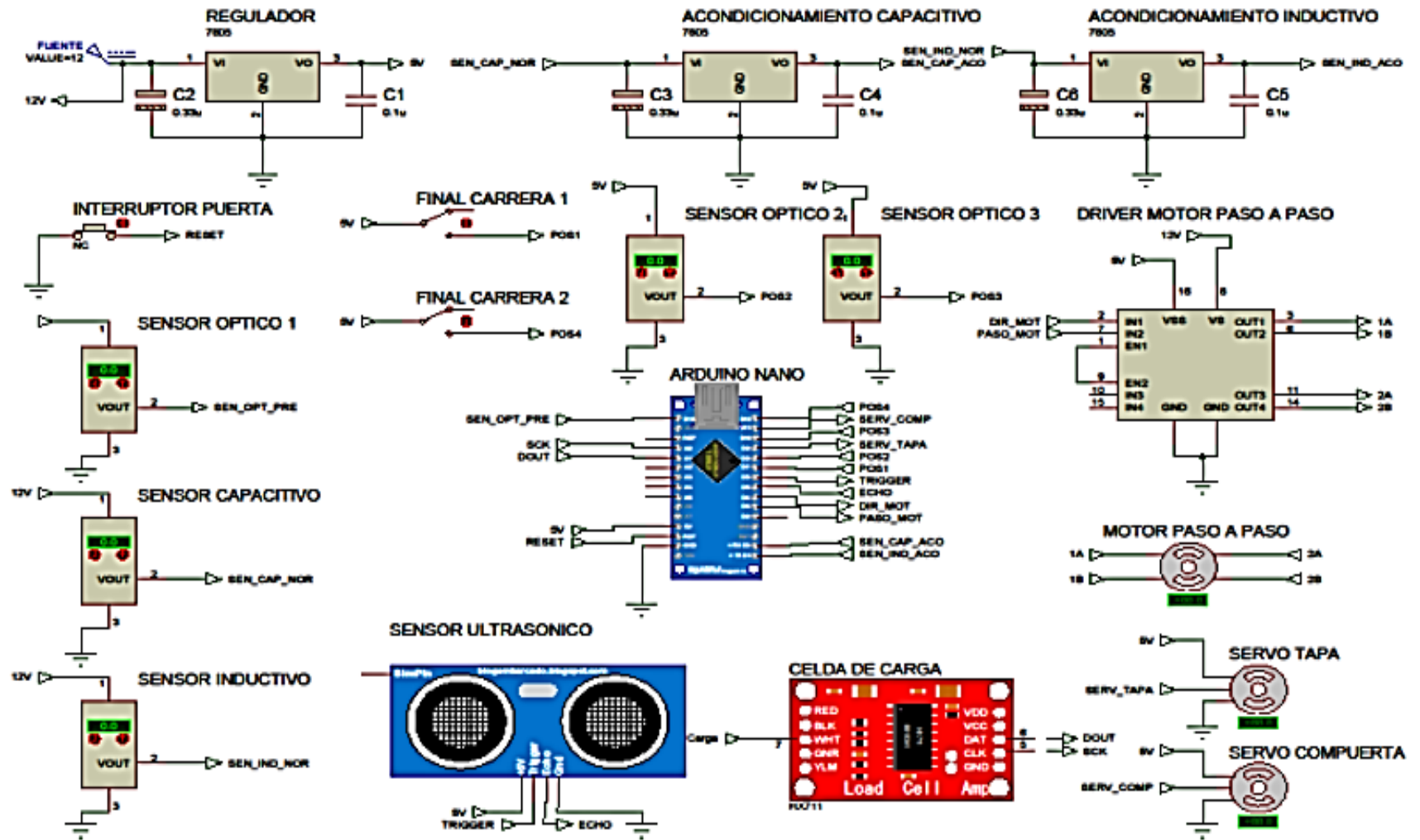
VALCÁRCEL, Miguel. Automatización y Miniaturización en Química Analítica. Springer Science & Business Media, 2000. [en línea] <<https://bit.ly/2F3efSD>>

14 ANEXOS

Anexo A. Resumen de tecnologías para la clasificación de residuos.

	TECNOLOGÍAS DE CLASIFICACIÓN						
Tipo de material	Clasificación basada en corriente parasita	Espectroscopia de ruptura inducida por láser	Clasificación basada en Rayos X	Clasificación óptica	Clasificación basada en imágenes espectrales	Captura de imágenes	Capacitancia
Plástico		X	X		X	X	X
Metal	X	X	X	X	X	X	X
Vidrio				X	X	X	X
Papel				X		X	X
Ventajas	Fácil implementación	Buen porcentaje de exactitud	Buen porcentaje de exactitud	Fácil implementación	Buen porcentaje de exactitud	Fácil implementación	Fácil implementación
Desventajas	Solo detecta un tipo de material	Alto costo	Alto costo	Alto costo	Alto costo	Se requiere una base de datos extensa	Altos costos en la tecnología análoga

Anexo B. Diseño electrónico.



Anexo C. Código fuente.

```
#include <Servo.h>
#include <HX711.h>

#define DOUT A1
#define SCK A0

Servo ServoTapa;
Servo ServoCompuerta;

HX711 balanza(DOUT, SCK);

const int DireccionMotor = 4;
const int PasoMotor = 3;
const int EchoPin = 5;
const int TriggerPin = 6;
const int Posicion_1 = 7;
const int Posicion_2 = 8;
const int Posicion_3 = 10;
const int Posicion_4 = 12;
const int Presencia = 13;
const int Capacitivo = 0;
const int Inductivo = 1;

boolean inicio = true;
int NivleCaneca_1;
int NivleCaneca_2;
int NivleCaneca_3;
int NivleCaneca_4;

void setup() {
  ServoTapa.attach(9);
  ServoCompuerta.attach(11);
  pinMode(DireccionMotor, OUTPUT);
  pinMode(PasoMotor, OUTPUT);
  pinMode(TriggerPin, OUTPUT);
  pinMode(EchoPin, INPUT);
  pinMode(Posicion_1, INPUT);
  pinMode(Posicion_2, INPUT);
  pinMode(Posicion_3, INPUT);
  pinMode(Posicion_4, INPUT);
  pinMode(Presencia, INPUT);
  pinMode(Capacitivo, INPUT);
  pinMode(Inductivo, INPUT);
```

```

    balanza.set_scale(439430.25);
    balanza.tare(20);
}

void loop() {
    while (inicio) {
        ControlTapa(0);
        delay(1000);
        ControlCompuerta(0);
        delay(1000);
        while (digitalRead(Posicion_1) == LOW) {
            ControlMotor(1);
        }
        delay(1000);
        NivleCaneca_1 = ControlNivel(TriggerPin, EchoPin);
        delay(1000);
        while (digitalRead(Posicion_2) == HIGH) {
            ControlMotor(0);
        }
        delay(1000);
        NivleCaneca_2 = ControlNivel(TriggerPin, EchoPin);
        delay(1000);
        while (digitalRead(Posicion_3) == HIGH) {
            ControlMotor(0);
        }
        delay(1000);
        NivleCaneca_3 = ControlNivel(TriggerPin, EchoPin);
        delay(1000);
        while (digitalRead(Posicion_4) == LOW) {
            ControlMotor(0);
        }
        delay(1000);
        NivleCaneca_4 = ControlNivel(TriggerPin, EchoPin);
        delay(1000);
        while (digitalRead(Posicion_1) == LOW) {
            ControlMotor(1);
        }
        delay(1000);
        if (NivleCaneca_1 < 20 || NivleCaneca_2 < 20 || NivleCaneca_3 < 20 ||
NivleCaneca_4 < 20);
        else {
            ControlTapa(1);
            delay(1000);
            inicio = false;
        }
    }
}

```

```

}
while (digitalRead(Presencia) == 1);
ControlTapa(0);
delay(1000);
if (digitalRead(Capacitivo) == 1 && digitalRead(Inductivo) == 1) {
    if (balanza.get_units(20) < 56)while (digitalRead(Posicion_4) ==
0)ControlMotor(0);
    if (balanza.get_units(20) >= 56 && balanza.get_units(20) <= 75 )while
(digitalRead(Posicion_3) == 1)ControlMotor(1);
}
if (digitalRead(Capacitivo) == 0 && digitalRead(Inductivo) == 1)while
(digitalRead(Posicion_3) == 1)ControlMotor(0);
if (digitalRead(Capacitivo) == 1 && digitalRead(Inductivo) == 0)while
(digitalRead(Posicion_2) == 1)ControlMotor(0);
if (digitalRead(Capacitivo) == 0 && digitalRead(Inductivo) == 0) {
    if (balanza.get_units(20) < 56)while (digitalRead(Posicion_4) ==
0)ControlMotor(0);
    if (balanza.get_units(20) >= 56 && balanza.get_units(20) <= 75 )while
(digitalRead(Posicion_3) == 1)ControlMotor(0);
    if (balanza.get_units(20) >= 76 && balanza.get_units(20) <= 200 )while
(digitalRead(Posicion_1) == 0)ControlMotor(0);
    if (balanza.get_units(20) > 200)while (digitalRead(Posicion_2) ==
0)ControlMotor(0);
}
delay(1000);
ControlCompuerta(1);
delay(1000);
ControlCompuerta(0);
if (ControlNivel(TriggerPin, EchoPin) < 20) ControlTapa(0);
while (digitalRead(Posicion_1) == 0)ControlMotor(1);
}

```

```

void ControlTapa(int Dir) {
    if (Dir == 0) {
        ServoTapa.write(0);
        delay(15);
    }
    if (Dir == 1) {
        ServoTapa.write(180);
        delay(15);
    }
}

```

```

void ControlCompuerta(int Dir) {
    if (Dir == 0) {

```



```

    ServoCompuerta.write(180);
    delay(15);
}
if (Dir == 1) {
    ServoCompuerta.write(90);
    delay(15);
}
}

void ControlMotor(int Dir) {
    if (Dir == 0) {
        digitalWrite(DireccionMotor, HIGH);
        for (int x = 0; x < 200; x++) {
            digitalWrite(PasoMotor, HIGH);
            delayMicroseconds(500);
            digitalWrite(PasoMotor, LOW);
            delayMicroseconds(500);
        }
    }
    if (Dir == 1) {
        digitalWrite(DireccionMotor, LOW);
        for (int x = 0; x < 200; x++) {
            digitalWrite(PasoMotor, HIGH);
            delayMicroseconds(500);
            digitalWrite(PasoMotor, LOW);
            delayMicroseconds(500);
        }
    }
}

int ControlNivel(int TriggerPin, int EchoPin) {
    long Duracion, DistanciaCm;
    digitalWrite(TriggerPin, LOW);
    delayMicroseconds(4);
    digitalWrite(TriggerPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(TriggerPin, LOW);
    Duracion = pulseIn(EchoPin, HIGH);
    DistanciaCm = Duracion * 10 / 292 / 2;
    return DistanciaCm;
}

```