



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA

FACULTAD DE TECNOLOGIAS Y CIENCIAS APLICADAS

TRABAJO FINAL

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PROTOTIPO DE
SISTEMA AUTOMÁTICO DE CLASIFICACIÓN Y
SEPARACIÓN DE RESIDUOS**

INGENIERIA ELECTRONICA

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA
Maximio Victoria No 55 - Tel/Fax: 0383-4435112 Int. 171
San Fernando del Valle de Catamarca (CP 4700). Argentina.

PRESENTA

Autor: Federico Leandro Diaz Brizuela

MUNº: 00659

Director: Julián Antonio Pucheta

-Año 2025-

“Como no estás experimentado en las cosas del mundo, todas las cosas que tienen algo de dificultad te parecen imposibles; confía en el tiempo, que suele dar dulces salidas a muchas amargas dificultades.”

(Miguel de Cervantes Saavedra, Don Quijote de la Mancha, Parte I, Capítulo XXI)

Dedicado a...

Mis padres, Enrique y Ramona, y mis hermanos Lourdes, Eduardo, Anahí y Vero quienes desde su lugar estuvieron presentes en las distintas etapas de la vida y formación profesional, que me enseñaron que la vida es una gran aventura y que, con esfuerzo, responsabilidad y dedicación, la construcción de un sueño es posible.

Agradecimiento

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, cuyo apoyo incondicional y confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar esta meta. Su amor y esfuerzo me han guiado en cada paso del camino.

A mis hermanos Lourdes, Vero y Quique, y en especial a mi hermana Anahí, quien siempre me ha apoyado e incentivado a dar nuevos pasos y asumir nuevos desafíos. Su confianza en mí ha sido una gran motivación a lo largo de este camino.

A mis compañeros Martín, Josué, Carmen, Félix y Julián, quienes me acompañaron en todas las etapas de este proceso, brindándome su ayuda y compañía en los momentos más desafiantes.

A mis amigos Lisandro, Miguel, Ernesto, por su constante apoyo moral, por creer en mí y por estar siempre presentes cuando más lo necesité. A todos aquellos que han estado desde el primer momento, compartiendo este recorrido conmigo.

A mi novia Aldana, por su amor, paciencia y aliento incondicional. Su apoyo ha sido un pilar fundamental en este camino, brindándome siempre la fuerza para seguir adelante.

A mi director, por su dedicación, predisposición y acompañamiento a lo largo de esta extensa etapa. Su orientación y compromiso fueron clave para la realización de este trabajo.

Finalmente, al tribunal, por su disposición y tiempo en la evaluación de este trabajo.

Sin ustedes, esto no se hubiera logrado.

A todos ellos. ¡Gracias!

Índice

Resumen	8
Lista de Figuras	10
Lista de Tablas	11
1 Capítulo I: Introducción	12
1.1 Motivación	12
1.2 Objetivos	12
1.2.1 Objetivo general	12
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 Lista de requerimientos	13
1.3.1 Contaminación de Materiales	13
1.3.2 Limitaciones Tecnológicas	13
1.3.3 Calidad del Producto Reciclado	14
1.3.4 Tamaño y escala	14
1.4 Gestión de riesgo	14
1.5 Metodología de trabajo	14
1.5.1 Definición del problema	14
1.5.2 Análisis de posibles soluciones	15
1.5.3 Elección de una solución, simular y experimentar resultados	18
1.5.4 Métodos para la selección de componentes	18
2 Capítulo II: Marco teórico	18
2.1 Antecedentes	18
2.1.1 Máquina de clasificación de botellas PET	19
2.1.2 Recicladoras automáticas en supermercados	19
2.1.3 Iniciativas de Municipios	19
2.1.4 Proyectos de Universidades	19
2.2 Sistema transportador	19
2.2.1 Generalidades	19
2.2.2 Motor del sistema transportador	20
2.3 Unidad central de procesamiento	21
2.3.1 Generalidades	21

Diseño e Implementación de Prototipo de Sistema Automático de Clasificación y Separación de Residuos

2.3.2	ESP32wroom32	22
2.3.3	CPU y memoria interna	22
2.3.4	Características eléctricas	23
2.3.5	Condiciones de funcionamiento recomendadas.....	24
2.4	Pantalla táctil.....	24
2.4.1	Generalidades	24
2.4.2	Especificaciones	24
2.4.3	Interfaz	25
2.4.4	Implementación de una pantalla Nextion.....	26
2.5	Comunicación.....	26
2.5.1	Internet de las cosas (IoT)	26
2.5.2	Protocolos de comunicación	27
2.5.3	MQTT.....	29
2.6	Sensores	32
2.6.1	Sensor capacitivo.....	32
2.6.2	Sensor inductivo.....	35
2.6.3	Sensor óptico.....	36
2.7	Accionadores.....	39
2.7.1	Motor paso a paso	39
2.7.2	Driver L298N.....	41
2.8	Delimitación del problema y alcance	42
2.9	Limitaciones impuestas al diseño.....	45
2.10	Desarrollos del software	45
2.10.1	Programación del dispositivo de control	45
2.10.2	Software de interfaz de usuario.....	45
2.11	Software	47
2.11.1	Software embebido	47
2.11.2	Programación mediante NODERED	48
2.12	Sumario de los requerimientos	49
3	Capítulo III: Diseño implementado	51
3.1	Cálculos de potencia	55

3.2	Diseños complementarios.....	58
3.2.1	Fuente Regulable.....	58
3.3	Montaje de módulos.....	60
3.4	Fuente de Alimentación.....	60
4	Capítulo IV: Pruebas experimentales.....	61
4.1	Prueba de componentes.....	61
4.2	Prueba del sistema.....	62
4.3	Mediciones de eficiencia.....	62
4.4	Viabilidad y Mantenimiento.....	63
4.4.1	Tabla de mantenimiento.....	63
4.4.2	Desgaste de componentes.....	65
4.4.3	Costos de Mantenimiento.....	66
5	Capítulo V: Discusión y conclusiones.....	66
6	Capítulo VI: Trabajos Futuros.....	68
7	Referencias.....	69

Resumen

Este trabajo final de carrera presenta el desarrollo de un prototipo para el reconocimiento y clasificación de botellas de vidrio, plástico, latas y metales. El desarrollo atiende la necesidad de clasificación de residuos sólidos urbanos.

Durante la evaluación de diferentes alternativas tecnológicas, se realizó 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. Se diseñó un sistema de control automático para la inserción de residuos en los diferentes contenedores.

El prototipo está compuesto por un eje de distribución, que se encuentra movilizado por un sistema de desplazamiento encadenado a un motor, este eje de distribución es de forma cilíndrica de un radio de 10cm x 30cm de altura, con una compuerta en su parte inferior, que su sistema de apertura y cierre es manipulado por otro motor. Este eje de distribución se encuentra adaptado con inserción de los sensores del tipo capacitivo, inductivo y óptico.

De esta forma se clasificará el elemento depositado en el eje de distribución, el mismo se desplaza y se ubica sobre el basurero correspondiente, abriendo su compuerta y dejando caer el residuo clasificado.

Para esto se logró implementar sensores del tipo industrial capacitivo e inductivo, se fabricó un sensor óptico, para el análisis de intensidad de luminosidad que ingresa al eje de distribución y un convertidor de 12v a 5v para poder obtener señales con ESP32.

Por lo tanto, la solución atiende a las limitaciones de diseño impuestas y se elabora teniendo en cuenta tiempo, costos y recursos disponibles.

Con este trabajo se busca asistir a los operarios implicados en el proceso de clasificación, por cuestiones de salud y limpieza personal.

Al producir este prototipo, se pudo implementar en forma de prueba tanto en áreas civiles como en plantas de clasificación de materiales, contiene una interfaz que permite el manejo de esta, para operarios de todas las edades, contando con una plataforma en la cual se muestra todos los datos de la clasificación, con el objetivo de realizar estudios de interés.

El sistema cuenta con una interfaz de usuario desarrollado con una pantalla Nextion Enhanced 5.0" en la que un operario puede ingresar datos necesarios para su operación.

Por otro lado, el diseño presenta una solución de Internet de las Cosas para monitorear y recopilar datos de interés generados por el proceso de forma remota. Estos datos son procesados por una aplicación construida en NodeRED, una herramienta de programación para conectar dispositivos de hardware, APIs y servicios en línea.

Diseño e Implementación de Prototipo de Sistema Automático de Clasificación y Separación de Residuos

Finalmente se realizó la implementación del sistema con sus respectivas pruebas y se pudo obtener la eficiencia. Estableciendo así un 92% de certeza en la detección de Latas, un 80% en la detección de plástico, 84% en la detección de vidrio y 72% en la detección de papeles.

Lista de Figuras

Figura 2.1. Diagrama de fuerza sistema transportador.	20
Figura 2.2. Modelo publicación/suscripción.....	27
Figura 2.3. Modelo TCP/IP.....	29
Figura 2.4. La Pila OSI.....	30
Figura 2.5. Protocolo de comunicación MQTT.	30
Figura 2.6. Estructura de un mensaje MQTT.	31
Figura 2.7. Funcionamiento de sensor capacitivo.	32
Figura 2.8. Representación fundamental de la capacidad entre conductores.	33
Figura 2.9. Etapas del sensor capacitivo.....	33
Figura 2.10. Sensor Capacitivo Forma Física.	34
Figura 2.11. Oscilación del Sensor Capacitivo.....	35
Figura 2.12. Etapas del Sensor Inductivo.....	36
Figura 2.13. Sensor Óptico.	37
Figura 2.14. Sensor LDR.	38
Figura 2.15. Relación resistencia-iluminación en una LDA.....	39
Figura 2.16. Motores paso a paso.....	40
Figura 2.17. Driver L298n.	42
Figura 2.18. Plano de Driver L298n.	42
Figura 2.19. Diagrama de flujo.....	44
Figura 2.20. Editor Nextion.	46
Figura 2.21. Ingreso de información WIFI.	47
Figura 2.22. Ingrese su elemento a clasificar.	47
Figura 2.23. Diagrama NodeRed.	48
Figura 2.24. Databoard de NodeRed.	49
Figura 2.25. Diagrama de Tabla de la verdad.	50
Figura 3.1. Evolución de eje de distribución.....	51
Figura 3.2. Eje de distribución terminado en Tinkerkad.....	52
Figura 3.3. Compuerta de eje de distribución.....	52
Figura 3.4. Prototipo de sistema automático de clasificación y separación de residuos. ...	53
Figura 3.5. Formato inicial del prototipo.	53
Figura 3.6. Formato interno del prototipo.	54
Figura 3.7. Diagrama del Circuito de detección de Sensor Capacitivo.	56
Figura 3.8. Diagrama del Circuito de detección de Sensor Inductivo.	57
Figura 3.9. Regulador de voltaje con salida 3.3V.	58
Figura 3.10. Circuito general de sensores y accionadores de clasificación.	59
Figura 3.11. Placa 3D general de sensores y accionadores de clasificación.....	59
Figura 3.12. Detalle Gabinete de Control.	60
Figura 3.13. Fuente de alimentación Linkworld [23].	61

Lista de Tablas

Tabla 1-1. Infraestructura de reciclaje.....	15
Tabla 1-2. Educación y conciencia ciudadana.	15
Tabla 1-3. Innovación Tecnológica en Maquinaria de Reciclaje.....	16
Tabla 1-4. Incentivos Económicos para el Reciclaje.	17
Tabla 1-5. Normativas y Regulaciones.	17
Tabla 2-1. Valores máximos.	23
Tabla 2-2. Condiciones de funcionamiento recomendadas.....	24
Tabla 2-3. Características Resolución.	24
Tabla 2-4. Características Eléctricas de la Fuente.	25
Tabla 2-5. Características Eléctricas.....	25
Tabla 2-6. Estructura de un mensaje MQTT.	31
Tabla 2-7-Materiales no metal detectable.	34
Tabla 2-8. Formatos de los Sensores Inductivos.	35
Tabla 2-9. Bobinas del motor paso a paso.....	40
Tabla 2-10. Tabla de la verdad.	50
Tabla 4-1. Pruebas Realizadas.....	62
Tabla 4-2. Tabla de mantenimiento.....	65

1 Capítulo I: Introducción

1.1 Motivación

La elección de este trabajo de Fin de Grado surge para crear conciencia y ayudar a la sociedad la importancia del reciclaje, implementando el desafío de poder atacar un problema social delicado. Con áreas por explotar y unido al desafío de diseñar una máquina clasificadora y separadora de papel, vidrio, lata y plástico. Esta clasificación supondrá la aplicación de contenidos y competencias adquiridas durante los años de estudio de la carrera Ingeniería Electrónica, a saber, Control de motores Utilización de sensores y actuadores, utilización de pantalla táctil, Diseño de hardware, Programación de microprocesadores, Programación de interfaz del usuario para operación y control. Comunicación de datos entre dispositivos electrónicos mediante protocolos USB, WiFi y SPI.

Esta problemática social anteriormente mencionada se divide en algunas motivaciones parciales como reducción del impacto ambiental que se puede aportar diseñando una máquina de clasificación de residuos que ayuda a separar los materiales reciclables, reduciendo la cantidad de residuos que terminan en contenedores, también se puede decir que otro motivo es la protección de recursos naturales, con el cual la clasificación efectiva permite recuperar materiales reciclables, reduciendo la necesidad de extraer recursos naturales nuevos, como minerales y petróleo. Otra motivación es la mejora en la calidad de los materiales reciclados, ya que esta máquina puede clasificar residuos con mayor precisión que los métodos manuales, asegurando que los materiales reciclables estén limpios y en buen estado.

También motiva el deseo de obtener más facilidad del reciclaje, para ser más accesible y automático, se promueve una mayor participación en el reciclaje. Otro motivo es reducir el costo laboral, ya que mediante la automatización de la clasificación se reduce la necesidad de mano de obra manual, lo que disminuye los costos operativos a largo plazo. Así, se tiene en cuenta la optimización de procesos y reducción de riesgos laborales del operario.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar y Construir un sistema automático de reconocimiento y clasificación de residuos reciclables en plástico, vidrio, papel y metal.

1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un dispositivo digital con un microcontrolador de 32 bits que genere las señales que activan el funcionamiento de la máquina recicladora con sensor capacitivo, sensor inductivo y sensor óptico.
- Diseño y construcción de interfaz para la lectura de los sensores.
- Diseñar y construir el sistema de desplazamiento.
- Diseñar y construir el circuito de potencia para el accionamiento del motor del sistema de desplazamiento.
- Visualizar en la pantalla, indicando información sobre el material del residuo.
- Diseñar una solución de Internet de las Cosas escalable para monitorear y recopilar datos de interés generados por el proceso de forma remota.
- Diseño del sistema de control del sistema clasificador y separador de residuos.

1.3 Lista de requerimientos

Se presenta la lista de requerimientos necesarios para el desarrollo y funcionamiento del sistema automático de clasificación y separación de residuos. Estos requerimientos incluyen tanto los elementos técnicos como las especificaciones operativas que deben cumplirse para asegurar el correcto desempeño del prototipo, capacidad de Separación y Clasificación.

Los materiales reciclables están mezclados y contaminados, lo que dificulta su separación precisa. La tecnología de clasificación automatizada, aunque avanzada, no siempre es capaz de identificar y separar todos los tipos de plásticos, metales, o mezclas de materiales.

1.3.1 Contaminación de Materiales

Los residuos suelen estar contaminados con alimentos, líquidos o productos químicos, lo que dificulta el proceso de clasificación, en el caso del plástico y el papel, la contaminación puede hacer que el material sea no apto para la clasificación.

1.3.2 Limitaciones Tecnológicas

Para la tecnología de Clasificación automatizada no es sencilla la identificación y separación de todos los tipos de plásticos, metales o conjunto de materiales, también se debe tener en cuenta el desgaste de los componentes como motores o sensores.

1.3.3 Calidad del Producto Reciclado

Los materiales reciclados, especialmente el plástico y el papel, pueden perder calidad tras ser procesados varias veces, lo que lo hace menos útil, ya que la mezcla de diferentes tipos de plástico o metal puede dar lugar a productos de baja calidad que no cumplen con los estándares.

1.3.4 Tamaño y escala

Las máquinas recicladoras que manejan múltiples materiales suelen ser grandes y requieren un espacio considerable para su instalación y operación por lo que la escala de producción puede ser un problema en áreas con baja densidad de residuos reciclables, donde la inversión en una máquina grande puede no ser rentable.

1.4 Gestión de riesgo

Se define como riesgo al resultado indeseable que plantea una amenaza al logro de cierto objetivo. Los riesgos pueden amenazar el proyecto. Por lo tanto, se deberá tener en cuenta los distintos tipos de riesgo en distintas áreas del proyecto.

La separación y clasificación incorrecta reduce la calidad del material reciclado, limitando su uso en la producción de nuevos productos, también incrementa la necesidad de intervención manual, lo que puede aumentar los costos y el tiempo de proceso, también se debe tener en cuenta la contaminación de los materiales que puede dañar la maquinaria y aumentar los costos de limpieza y mantenimiento. Los materiales contaminados a menudo terminan en vertederos en lugar de ser reciclados reduciendo la efectividad del proceso. También se debe tener en cuenta la limitación tecnológica que consta de la necesidad de mantenimiento constante y actualizaciones tecnológicas puede aumentar los costos operativos y reducir la productividad.

La calidad ineficiente del producto reciclado reduce la calidad del material reciclado, dificultando la producción del nuevo producto aumentando la necesidad del personal para la intervención manual, lo que puede aumentar los costos predeterminados y el tiempo de proceso, por lo que las empresas que requieren materiales de alta calidad podrían optar por materiales vírgenes en lugar de los reciclados.

1.5 Metodología de trabajo

1.5.1 Definición del problema

El aumento exponencial de residuos plásticos y metálicos en los últimos años ha generado una crisis ambiental sin precedentes. Las técnicas actuales de clasificación de plásticos y metales, aunque efectivas en algunos aspectos, presentan varias limitaciones, como el alto consumo de energía y la incapacidad de procesar ciertos tipos de plásticos de manera eficiente, ocurriendo de igual manera con los metales. Este trabajo se enfoca en desarrollar una máquina de clasificación capaz de procesar

plásticos de diferentes densidades de forma eficiente y con bajo impacto ambiental. La problemática central radica en la necesidad de una solución tecnológica innovadora que pueda ser implementada de manera accesible y sostenible en diferentes contextos.

1.5.2 Análisis de posibles soluciones

Se analizaron soluciones de alta factibilidad, entre estas se encuentra la mejora en la infraestructura de clasificación como se puede observar en la Tabla 1-1. Se ofrece solución, ventajas, desafíos e impacto potencial.

Accesibilidad al Reciclaje	
Solución	Incrementar la cantidad y accesibilidad de centros de reciclaje, contenedores de separación de residuos, y puntos de recolección en áreas urbanas y rurales.
Ventajas	Facilita la participación ciudadana en el reciclaje al ofrecer más opciones y comodidades, también puede reducir la contaminación al evitar que los desechos reciclables terminen en vertederos.
Desafíos	Requiere inversión significativa por parte de gobiernos o entidades privadas y tiene la necesidad de coordinar la logística de recolección y transporte de residuos.
Impacto potencial	Un acceso más fácil y extendido podría aumentar significativamente las tasas de reciclaje, especialmente en áreas con poco acceso actualmente.

Tabla 1-1. Infraestructura de reciclaje.

Otra solución propuesta es la de educación y concientización ciudadana como se puede observar en la Tabla 1-2.

Campaña de Educación	
Solución	Implementar campañas de educación y concienciación pública que enseñen la importancia del reciclaje, cómo separar correctamente los residuos y cómo los ciudadanos pueden contribuir al reciclaje
Ventajas	Cambia comportamientos a largo plazo y puede generar una cultura de reciclaje, aumentando la eficiencia del reciclaje al reducir la contaminación cruzada en los contenedores
Desafíos	Puede ser difícil mantener el interés y la participación del público a largo plazo por lo que requiere inversión continua en campañas y programas educativos.
Impacto potencial	Si se implementa adecuadamente, la educación puede ser una de las soluciones más efectivas a largo plazo, ya que empodera a las personas para tomar decisiones conscientes en su vida diaria.

Tabla 1-2. Educación y conciencia ciudadana.

Se propone como solución la Innovación Tecnológica en maquinaria de clasificación en la cual se va a hacer hincapié a lo largo de este trabajo. Esta solución se Encuentra detallada en la Tabla 1-3, y se destaca ventajas, desafíos e Impacto potencial.

	Avances tecnológicos de Reciclaje
Solución	Desarrollar y adoptar nuevas tecnologías y maquinaria que mejoren la eficiencia y capacidad del reciclaje, como máquinas de clasificación automatizadas, robots recicladores, o sistemas de reciclaje químico avanzados.
Ventajas	Aumenta la cantidad de materiales que pueden ser reciclados, incluyendo aquellos que actualmente no se reciclan debido a limitaciones tecnológicas también se puede reducir costos a largo plazo al automatizar procesos y aumentar la eficiencia.
Desafíos	Cuenta con costos iniciales elevados para el desarrollo e implementación de nuevas tecnologías, también puede requerir actualización constante a medida que la tecnología avanza.
Impacto potencial	Las innovaciones tecnológicas tienen el potencial de transformar la industria del reciclaje, aumentando drásticamente la tasa de recuperación de materiales y mejorando la sostenibilidad.

Tabla 1-3. Innovación Tecnológica en Maquinaria de Reciclaje.

También se puede interpretar como solución los incentivos económicos para el reciclaje como se observa en la Tabla 1-4. En este aspecto en particular se requiere de una gran participación de un ente municipal o Estatal.

	Aporte Económicos para incentivos
Solución	Implementar programas que ofrezcan incentivos económicos a individuos y empresas para reciclar, como sistemas de devolución de depósitos, recompensas por reciclaje, o reducción de impuestos para empresas que reciclan eficientemente.
Ventajas	Motiva a más personas y empresas a reciclar al ofrecer un beneficio económico directo. Puede aumentar la cantidad de materiales reciclados sin necesidad de cambios significativos en la infraestructura.
Desafíos	Requiere una fuente de financiamiento para los incentivos, para esto se deberá realizar convenios con algún ente público, también podría ser complejo de administrar a gran escala.
Impacto potencial	Los incentivos económicos podrían generar un impacto rápido y visible, aumentando significativamente la participación en el reciclaje.

Tabla 1-4. Incentivos Económicos para el Reciclaje.

Otra solución que se propone es la creación de normativas y una mayor regulación con mayor grado de exigencia como se puede observar en la Tabla 1-5.

	Adaptación de leyes y Regulaciones
Solución	Establecer leyes y regulaciones más estrictas que obliguen a las empresas a reciclar un porcentaje mínimo de sus residuos, prohíban ciertos materiales no reciclables, o penalicen a quienes no cumplan con las normativas de reciclaje
Ventajas	Asegura que el reciclaje se lleve a cabo de manera obligatoria, no solo voluntaria, también puede forzar el desarrollo de soluciones innovadoras por parte de las empresas
Desafíos	Las regulaciones estrictas pueden ser impopulares y difíciles de implementar sin una supervisión adecuada, también puede aumentar los costos operativos para las empresas, lo que podría trasladarse a los consumidores
Impacto potencial	Las regulaciones pueden ser muy efectivas para aumentar las tasas de reciclaje, especialmente si están bien diseñadas y cuentan con un sistema de supervisión y cumplimiento sólido

Tabla 1-5. Normativas y Regulaciones.

1.5.3 Elección de una solución, simular y experimentar resultados.

Cada una de estas soluciones tiene el potencial de aumentar el reciclaje, pero su éxito dependerá de una implementación efectiva y de la combinación adecuada de enfoques. La mejora de la infraestructura, junto con la educación ciudadana y la innovación tecnológica, puede crear una base sólida para un sistema de clasificación más eficiente y sostenible. Además, los incentivos económicos y las regulaciones estrictas pueden ser herramientas poderosas para acelerar el cambio y garantizar que más personas y empresas participen activamente en el reciclaje.

La solución elegida en este trabajo final de carrera es la innovación tecnológica de maquinaria de clasificación, elaborando una maquina en la cual se desarrolle la clasificación de plástico, metal, papel y vidrio.

1.5.4 Métodos para la selección de componentes

Por este motivo se seleccionó los sensores, tanto capacitivo como el inductivo por su fiabilidad a la hora de realizar la detección gracias a su elaboración mediante las normas APA.

Al ser muy importante estos sensores para la detección se buscó un tercer sensor para la detección e identificación de los elementos, por este motivo se diseñó elaborar un sensor óptico, en el cual se analiza los fotones que refractan el material y es detectada por el sensor.

Para no depender de la luz del exterior, se implantaron 4 planchuelas led que se alimentan con 12v.

Se implementaron 2 motores PAP por su facilidad de manejo, fuerza y precisión del movimiento. Un motor nema 17 para el desplazamiento del eje de distribución, ya que necesita de un mayor torque, se implementaron de igual manera 2 rieles para evitar la exigencia de este motor.

Se implemento un motor nema 13 para la apertura y cierre de la compuerta, ya que tiene que soportar un peso considerable de los elementos.

Para la parte de controlador se decidió implementar un ESP32 por su facilidad de programación con IDE de Arduino, su alto rendimiento en cuestiones como su velocidad, su importante cantidad de pines y por su costo.

Se decidió implementar una pantalla Nextion, para obtener una mayor interacción con el operador/reciclador, esto también lo hace al proyecto transportable ya que se pueden cargar los datos del WiFi de donde se encuentra ubicado y enviárselo directamente a la ESP32, sin la necesidad de modificar el código fuente.

2 Capítulo II: Marco teórico

2.1 Antecedentes

Se presentan los antecedentes relevantes relacionados con el desarrollo de sistemas automáticos de clasificación y separación de residuos. Se analizan estudios previos y tecnologías utilizadas en proyectos similares, que sirven como base y punto de partida para el diseño y optimización del prototipo actual.

2.1.1 Máquina de clasificación de botellas PET

En el 2019, algunas empresas y municipios comenzaron a instalar máquinas de clasificación que permitían depositar botellas de plástico PET

[13] (tereftalato de poliestireno). A cambio, los usuarios recibían beneficios como descuentos en los comercios adheridos, como parte de la campaña de concientización sobre la importancia de reciclar.

2.1.2 Recicladoras automáticas en supermercados

Algunas cadenas de supermercados, con Carrefour, implementaron máquinas de clasificación donde los consumidores podían depositar envases de plástico y aluminio a cambio de cupones de descuento o donaciones a organizaciones benéficas.

2.1.3 Iniciativas de Municipios

Varias ciudades en Argentina, como Rosario, Bs As, Córdoba, han experimentado con la instalación de máquinas de clasificación como parte de sus programas de gestión de residuos. En muchos casos, estas máquinas están vinculadas a aplicaciones.

2.1.4 Proyectos de Universidades

En la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) [1] se han llevado a cabo proyectos de clasificación automatizado, donde los estudiantes diseñan maquinas que separan residuos automáticamente según su tipo (plástico, metal, papel). Para esto han utilizado sensores ópticos, y de peso para identificar los diferentes materiales. Estos sensores permiten la distinción entre una lata de aluminio y una botella de vidrio. Este proyecto fue realizado por estudiantes de la Facultad Regional de Paraná y se completó en 2023.

2.2 Sistema transportador

2.2.1 Generalidades

El sistema transportador es un arreglo de componentes mecánicos y estructurales que tiene como función transportar material desde un lugar a otro generalmente en forma continua, y a distancias que pueden oscilar entre cortas distancias.

Uno de los componentes principales del transportador es su encadenado que ejerce una doble función.

- Transportar el eje de distribución
- Transmitir la fuerza necesaria para transportar la carga.

En los dos extremos del transportador, el encadenado se enrolla en engranajes, uno de los cuales debe estar acoplado a un sistema motor que transmite el movimiento.

2.2.2 Motor del sistema transportador

Para el accionamiento del engranaje motriz que mueve el eje de distribución, se empleó un motor eléctrico paso a paso cuyo eje de salida se encuentra acoplado al engranaje. La potencia y características del motor dependió del tipo de material que se desea transportar y del material con el cual se diseñó el eje de distribución, de igual manera para aumentar una mayor linealidad en el movimiento de este, se decidió implementar unos rieles por el cual el sistema transportador no requiera implementar fuerzas perpendiculares. Para establecer que la potencia del motor sea suficiente se implementó el cálculo de la selección del motor. Los aspectos generales para la selección del motor eléctrico comprenden el coeficiente de fricción entre el material de la cinta y el de la placa por la cual se va a deslizar, con el fin de calcular la fuerza de rozamiento y las velocidades del motor. Se parte del diagrama de fuerzas que actúan en la banda como se muestra en la Figura 2.1.

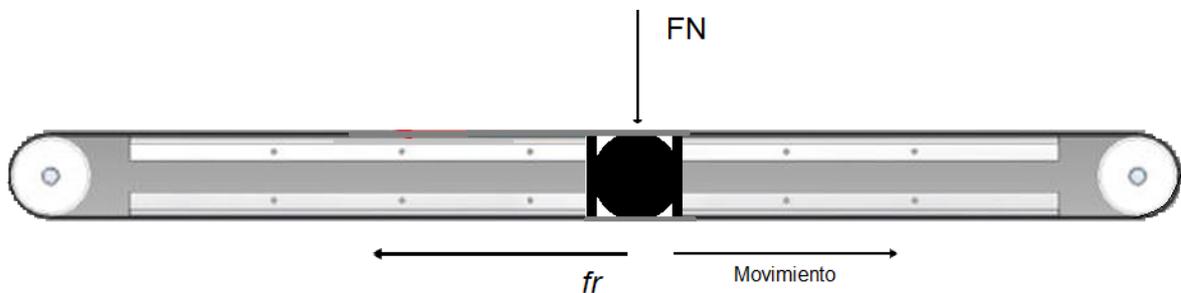


Figura 2.1. Diagrama de fuerza sistema transportador.

Para calcular la fuerza normal (F_N) se utiliza la ecuación:

$$F_N = (C * Masa) * A_g$$

Donde: $Masa = M_b + M_c$

M_b = Masa botella llena a máximo nivel

M_c = Masa de la cinta

C = Cantidad de botellas sobre la banda

A_g = Aceleración gravitacional

Cálculo de fuerza normal

$$F_N = (C * Masa) * A_g$$

$$F_N = (4 * (0.081kg + 1.145kg)) * 9.8m/s^2$$

$$F_N = 48.059N$$

Seguidamente se realiza el cálculo de la fuerza de rozamiento:

$$f_r = \mu * F_N$$

Donde:

μ = Coeficiente de rozamiento entre el eje de distribución y el sistema transportador.

F_N = Fuerza normal

$$f_r = \mu * F_N$$
$$f_r = 0.4 * 48.059N$$
$$f_r = 19.22N.$$

Como último parámetro se tienen las velocidades, lineal, angular y revoluciones por minuto para hallar la potencia del motor y con ella el torque que permite seleccionar correctamente el motor. La velocidad lineal V_l típica del sistema transportador de estas características aproximadamente $0.04m/s$.

Para la velocidad angular es necesario hallar el cociente entre la velocidad lineal y el radio del engranaje, que se especifica en la ecuación, tal como se describe adelante:

$$\omega = \frac{V_l}{R}$$
$$\omega = \frac{0.04m/s}{0.0263m}$$
$$\omega = 1.521 \text{ rad/s}$$

Convirtiendo dicha velocidad en revoluciones por minuto (rpm) se tiene $14.52rpm$.

Teniendo la fuerza de rozamiento y la velocidad lineal se determina la potencia del motor necesaria, a partir de la siguiente ecuación:

$$potencia = f_r * V_l$$
$$potencia = 19.22N * 0.04m/s$$
$$potencia = 0.76W$$

Por último, se calcula el torque del motor, sabiendo que es el cociente entre la potencia y la velocidad angular

$$T \text{ orque} = \frac{0.76W}{1.521 \text{ rad/s}}$$
$$T \text{ orque} = 0.505Nm$$

El motor que se implementó es un motor NEMA 17 [14], el cual cuenta con un torque de $1.2Nm$ por lo que servirá perfectamente para el trabajo que se desea realizar.

2.3 Unidad central de procesamiento

2.3.1 Generalidades

Los automatismos o controladores lógicos son dispositivos que sirven para controlar máquinas. Sobre esta máquina se influye emitiendo señales de salida a actuadores, y se recibe información de su estados o eventos que suceden en ella a través de sensores. El automatismo recibe señales de entrada que no solamente provienen de los sensores de la máquina, sino también de los mandos de los paneles de control, de los sistemas de supervisión e incluso de otros automatismos. Una señal de salida puede ser tanto una señal que se envía a un accionador para actuar sobre un proceso físico, como incrementar una variable o enviar un mensaje.

2.3.2 ESP32wroom32

El ESP32 es un microcontrolador [15] diseñado por Espressif Systems, una compañía china con sede en Shangai. ESP32 está diseñado para aplicaciones móviles, dispositivos electrónicos portátiles e Internet de las cosas (IoT). Existen distintas versiones de ESP32, pero todas con el mismo procesador, lo que las diferencian son el número de pines GPIO expuestos, la cantidad de memoria flash, las dimensiones, la forma de exponer los pines, y otras consideraciones varias relativas a su construcción. Para este proyecto se usa una placa de desarrollo NodeMCU32 que integra una versión del ESP32 que es ESP32wroom32.

El ESP32WROOM32 es un módulo MCU WiFi + BT + BLE2 genérico y potente que se dirige a una amplia variedad de aplicaciones, que van desde redes de sensores de baja potencia hasta las tareas más exigentes, como codificación de voz, transmisión de música y decodificación de MP3. En el núcleo de este módulo se encuentra el chip ESP32D0WDQ6.

El chip integrado está diseñado para ser escalable y adaptado. Hay dos núcleos de CPU que se pueden controlar individualmente y la frecuencia de reloj de la CPU es ajustable de 80 MHz a 240 MHz. El chip también tiene un coprocesador de baja potencia que se puede utilizar en lugar de la CPU para ahorrar energía mientras realiza tareas que no requieren mucha potencia informática, como la supervisión de periféricos. El ESP32 integra un rico conjunto de periféricos, que van desde sensores táctiles capacitivos, sensores Hall, interfaz de tarjeta SD, Ethernet, SPI de alta velocidad, UART, I²S e I²C.

2.3.3 CPU y memoria interna

El ESP32D0WDQ6 contiene dos microprocesadores Xtensa® LX6 de 32 bits de bajo consumo.

La memoria interna incluye:

- 448 KB de ROM para funciones básicas y de arranque.
- 520 KB de SRAM en chip para datos e instrucciones
- 8 KB de SRAM en RTC, ¡que se denomina memoria RTC FAST y se puede utilizar para el almacenamiento de datos; se accede por la CPU principal durante el arranque RTC desde el modo de sueño profundo.

Diseño e Implementación de Prototipo de Sistema Automático de Clasificación y Separación de Residuos

- 8 KB de SRAM en RTC, que se denomina memoria RTC SLOW y se puede acceder a ella mediante el coprocesador durante el modo de sueño profundo.
- 1 Kbit de eFuse: 256 bits se utilizan para el sistema (dirección MAC y configuración del chip) y los restantes 768 bits están reservados para aplicaciones del cliente, incluido el cifrado flash y la identificación de chip.

2.3.4 Características eléctricas

2.3.4.1 Valores máximos

Las tensiones más allá de los valores máximos enumeradas en la Tabla 2-1 pueden causar daños permanentes al dispositivo. Estas son solo clasificaciones de estrés y no se refieren al funcionamiento operativo que el dispositivo debe seguir.

Symbol	Parametros	Min	Max	Unidad
VDD33	Voltaje de Fuente de Alimentacion	-0.3	3.6	V
I_{output}	Corriente de Salida	-	1,100	mA
T_{store}	Temperatura de Almacenamiento	-40	150	°C

Tabla 2-1. Valores máximos.

2.3.5 Condiciones de funcionamiento recomendadas

Las condiciones de funcionamiento recomendadas se muestran en Tabla 2-2.

Simbolo	Parametro	Min	V. Tipico	Max	Unidad
VDD33	Voltaje de Fuente de Alimentacion	3.0	3.3	3.6	V
I_{VDD}	Corriente Suministrada por Fuente de A.	0.5	-	-	A
T	Temperatura de Operacion	-40	-	85	°C

Tabla 2-2. Condiciones de funcionamiento recomendadas.

2.4 Pantalla táctil

2.4.1 Generalidades

En este proyecto se emplea la pantalla Nextion Enhanced HMI 5.0" [2] Nextion es una solución de interfaz hombre-máquina (HMI) que combina un procesador integrado y una pantalla táctil de memoria con el software Nextion Editor. La pantalla Nextion HMI se conecta a la MCU periférica vía TTL (5V, TX, RX, GND).

2.4.2 Especificaciones

Este modelo cuenta con las características detalladas en la Tabla 2-3.

	Data	Descripcion
Color	64K 65536 colors	16bit 565, SR-6G-5B
Layout Size	133.50(L)*84(W)*6.8(H)	NX8048K050_011R
Active Area (A.A)	118.55mm(L)*77.55mm(W)	
Visual Area (A.A)	108mm(L)*64.80mm(W)	
Resolution	800x480 pixel	Also can be set as 480x800 pixel
Touch type	resistive	
Touches	>1 million	
Backlight	LED	
Backlight lifetime	>30000 hours	
Brightness	230 nit (NX8048K050_011R)	0% a 100%, the interval of adjustment is 1%
Weigth	128g NX8048K050_011R	

Tabla 2-3. Características Resolución.

	Condiciones de Prueba	Min	Típico	max	Unidad
Tensión de Funcionamiento	4,75	5	7		V
Corriente de Funcionamiento	VCC=+5V, el brillo es 100%	-	410	-	mA
	Modo SLEEP	-	15	-	mA

Tabla 2-4. Características Eléctricas de la Fuente.

	Condiciones de Prueba	Min	Típico	Max	Unidad
Velocidad del puerto serie	Estándar	2400	9600	115200	Bps
Voltaje de salida Alto	IOH=-1mA	3	3,2	-	V
Voltaje de salida Bajo	LIO=1mA	-	0,1	0,2	V
Voltaje de Entrada Alto		2	3,3	5	V
Voltaje de Entrada Bajo		-0,7	0	1,3	V
Modo del puerto serie	TTL				
Puerto Serial	4Pin_2,54mm				
Puerto Serial	4Pin_2,54mm				
Interfaz USB	NO				
Zócalo de tarjeta SD	Si (formato FAT32) admite una tarjeta Micro SD de 32G como Maximo - El zócalo de la tarjeta micro SD se utiliza exclusivamente para actualizar el firmware de Netion/ diseño de HMI				

Tabla 2-5. Características Eléctricas.

En la Tabla 2-4 y en la Tabla 2-5 se puede observar las características eléctricas con sus respectivas condiciones de prueba.

2.4.3 Interfaz

Nextion cuenta con un set de instrucciones para programar su controlador de forma que ante determinados eventos realicen una acción, por ejemplo, si un botón es presionado mostrar una imagen. Esto se lleva a cabo mediante el software de edición con que además se diseñan los fondos y las estructuras de la pantalla, y los elementos que contendrá cada una. Además, existen comandos que se pueden dar con nuestro controlador usando el puerto serial. Por ejemplo, desde nuestro controlador se puede decir a Nextion que cambie a una página específica usando el comando page0. Luego, todos los comandos deben terminar con tres bytes 0xFF.

Para enviar texto desde el controlador para mostrar en pantalla, se usó el comando t0.txt luego el carácter (0x22) seguido de los caracteres que se desea mostrar. Por último, se envían nuevamente (0x22) y tres bytes 0xFF.

2.4.4 Implementación de una pantalla Nextion

Para la implementación de la pantalla Nextion, los pasos son:

1. Diseño de la interfaz: Utilizando el Nextion Editor, se diseñará la interfaz gráfica en la pantalla Nextion. Esto incluye agregar botones, textos, imágenes y otros elementos visuales según tus necesidades.
2. Definición de componentes: Una vez que se diseñó la interfaz, se definieron los componentes táctiles, como botones, sliders o áreas sensibles al toque. Cada componente es programado para realizar acciones específicas cuando se tocan.
3. Programación de eventos: Utilizando el lenguaje de scripting de Nextion, se programan los eventos que se activan cuando se interactúa con los componentes de la pantalla.
4. Comunicación con microcontroladores: La pantalla Nextion se comunicará directamente con microcontrolador ESP32. Se envían y se reciben los datos entre la pantalla y el microcontrolador para controlar motores y procesar información.
5. Depuración y pruebas: Es importante realizar pruebas exhaustivas de la interfaz y la funcionalidad de la pantalla Nextion antes de implementarla en el proyecto. El Nextion Editor proporciona herramientas para depurar y simular el comportamiento de la pantalla antes de desplegarla en hardware.
6. Implementación en el proyecto: Se implementó la pantalla Nextion en el proyecto, realizando pruebas adicionales para garantizar un funcionamiento adecuado, una vez que se logró satisfacer las necesidades del proyecto con la interfaz y la programación se pudo continuar al siguiente ítem.

2.5 Comunicación

En este proyecto, el controlador debe comunicarse con diferentes dispositivos como la pantalla, un lector de tarjeta SD y el servidor local por lo que a continuación se explican conceptos necesarios para llevar a cabo la transferencia de datos entre estos dispositivos.

2.5.1 Internet de las cosas (IoT)

Internet de las Cosas (IoT, IdC) es el conjunto de esfuerzos desde todo punto de vista técnico/tecnológico, para crear escenarios de monitoreo y control remoto, que podrían

emular situaciones que podrían ser vividas de manera presencial. Esta creación de escenarios se hace en base a tecnología de tipo electrónica que, en conjunto con transductores (sensores y actuadores), permite acceder a dispositivos en lugares recónditos del planeta y fuera de él. Esta creación de escenarios, que pueden ser considerados en una primera vista como ficticios, en muchos casos ni siquiera son supervisados por el ser humano, sino que las máquinas (dispositivos) se comunican entre ellos a través de plataformas siguiendo un modelo de publicación/subscripción, a través de protocolos máquina a máquina (M2M), tal como se observa en la Figura 2.2.

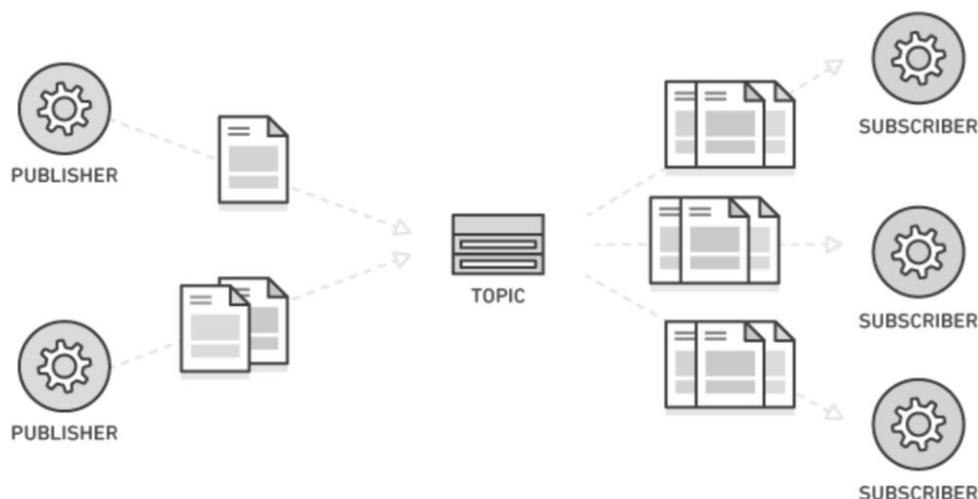


Figura 2.2. Modelo publicación/suscripción.

En el campo de IoT se puede observar que existe una gran heterogeneidad, debido a la inclusión de objetos totalmente diferentes a nivel funcionalidad, tecnología y campos de aplicación, incluso hasta etapas de conexión o interfaces que proporcionan inteligencia y conectividad a objetos que antes no lo tenían.

Estos objetos tienen la capacidad de comunicarse entre sí, tomar decisiones conjuntas, seguir comportamientos predeterminados, etc. El uso de objetos inteligentes, es decir dispositivos con conectividad, permite capturar y controlar de forma autónoma multitud de procesos, que pueden ser aplicados a casos específicos de producción industrial.

2.5.2 Protocolos de comunicación

Un protocolo define el formato y el orden de los mensajes intercambiados entre dos o más entidades que se comunican, así como las acciones que se toman en la transmisión y/o recepción de un mensaje u otro evento [12].

Existen diversos protocolos. En internet, los protocolos utilizados pertenecen a una sucesión de protocolos o a un conjunto de protocolos relacionados entre sí. Este conjunto de protocolos se denomina TCP/IP.

2.5.2.1 Clasificación de protocolos

Protocolos orientados a conexión

Cuando una aplicación utiliza un servicio orientado a conexión, el programa cliente y el servidor se envían paquetes de control antes de enviar paquetes con datos reales. El llamado procedimiento de acuerdo alerta al cliente y al servidor permitiéndoles prepararse para una avalancha de paquetes. Una vez acabado el procedimiento de acuerdo, se dice que se ha establecido una conexión entre los dos sistemas terminales TCP es un protocolo orientado a conexión). La mayoría de las aplicaciones más familiares de Internet utilizan TCP, el servicio de internet orientado a la conexión, entre ellos SMTP (para correo electrónico), FTP (para transferencia de archivos) y HTTP (para web).

Protocolos no orientados a la conexión

No hay acuerdo en relación con el servicio sin conexión de internet. Cuando un lado de una aplicación quiere enviar paquetes al otro lado de la aplicación, el programa emisor envía solo los paquetes. Como no hay un acuerdo anterior a la transmisión de paquetes de datos, los datos pueden ser entregados rápidamente. Así, no hay transferencia fiable de datos, y por lo tanto una fuente nunca está segura de qué paquetes han llegado al destino. El servicio sin conexión de Internet se llama UDP (User Datagram Protocol).

Una comunicación posible sobre UDP es una comunicación de voz y video, cuando se tiene una teleconferencia por ejemplo a través de algún software. Si uno o varios datos no llegaran, se podrían ver pixeles verdes sobre el rostro de alguna persona, dejando claro que el reconocimiento de aquella persona, o del bloque total de datos, no se verá alterada con una pérdida de información.

Cada protocolo se aplica en distintas capas, tal como lo indica la Figura 2.3, cuando se conecta una PC mediante cable al router, a nivel físico se implementa ETHERNET, en la capa de internet por ejemplo IP, en la capa de transporte TCP, y en la capa de aplicación HTTP, por ejemplo. (siguiendo un esquema similar al del modelo OSI) [10].

La familia de protocolos de internet se describe por analogía con el modelo OSI (Open System Interconnection), que describe los niveles o capas de la pila de protocolos, aunque en la práctica no corresponde exactamente con el modelo en Internet. En una pila de protocolos, cada nivel resuelve una serie de tareas relacionadas con la transmisión de datos, y proporciona un servicio bien definido a los niveles más altos. Los niveles superiores son los más cercanos al usuario y tratan con datos más abstractos, dejando a los niveles más bajos la labor de traducir los datos de forma que sean físicamente manipulables.

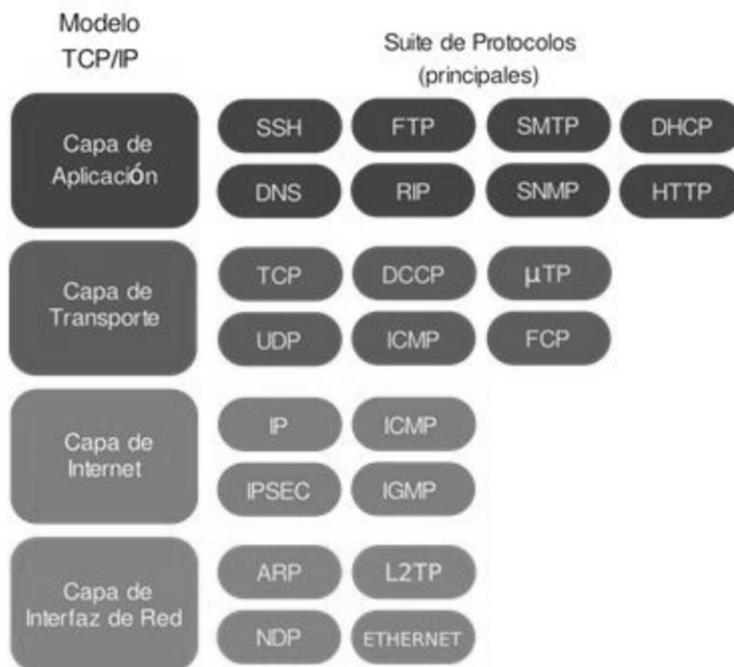


Figura 2.3. Modelo TCP/IP.

2.5.3 MQTT

Este es un protocolo reducido que corre sobre TCP/IP que permite que las “máquinas” hablen entre sí, de ahí su tipo, M2M (del inglés Machine to Machine). En un extremo se tiene un usuario final, o endpoint, es decir un dispositivo capaz de capturar información a través de sensores, información como la temperatura, presión, humedad, niveles o cualquier otra magnitud que se desee medir de manera directa o indirecta; y del otro lado, un terminal que recolecta dichos datos, o broker, y que además vincula a otros endpoints, que desean conocer qué pasó con aquella medición de temperatura, presión o humedad realizado por el primero, tal como lo muestra la Figura 2.4 [9].

El protocolo MQTT se ha convertido en uno de los principales pilares del IoT por su sencillez y ligereza. Ambos son condicionantes importantes dado que los dispositivos de IoT suelen tener limitaciones de potencia, consumo, y ancho de banda.

2.5.3.1 Características

- Protocolo de comunicación asincrónico
- Baja cantidad de bits en los encabezados
- Modelo de Publish/Subscribe (PubSub Model)
- Corre sobre protocolo orientado a la conexión.



Figura 2.4. La Pila OSI.

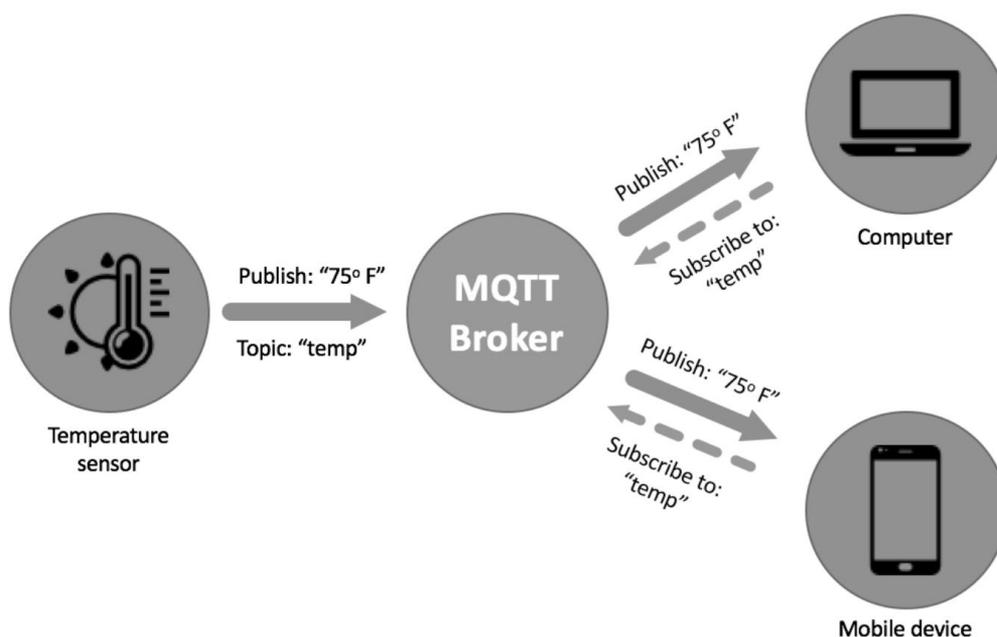


Figura 2.5. Protocolo de comunicación MQTT.

En la Figura 2.6 se puede observar gráficamente un ejemplo del funcionamiento del protocolo de comunicación MQTT, mediante un Broker.

Uno de los puntos fuertes del MQTT es que es simple y ligero. Por este motivo es muy interesante para sistemas que requieren poco ancho de banda, tienen una alta latencia y requieren de poco consumo de los dispositivos. Los objetivos del protocolo MQTT son minimizar el ancho de banda, soportar la comunicación bidireccional entre dispositivos, y minimizar los requerimientos de los dispositivos tanto recursos como consumo y garantizar la fiabilidad, dado que no es necesario que constantemente este peticionando sobre una base de datos, a esto se le agrega la seguridad.

2.5.3.2 Funcionamiento

El funcionamiento del MQTT es un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor (pubsub). En este tipo de arquitecturas los clientes se conectan con un servidor central denominado broker. Para filtrar los mensajes que son enviados a cada cliente, los mensajes se disponen en topics organizados jerárquicamente. Un cliente puede publicar un mensaje en un determinado topic. Otros clientes pueden suscribirse a este topic, y el broker le hará llegar los mensajes suscritos.

Los clientes inician una conexión TCP/IP con el broker, el cual mantiene un registro de los clientes conectados. Esta conexión se mantiene abierta hasta que el cliente la finaliza. Por defecto, MQTT emplea el puerto 1883 y el 8883 cuando funciona sobre TLS.

Estructura de un mensaje MQTT

Uno de los componentes más importantes del protocolo MQTT es la definición y tipología de los mensajes, ya que son una de las bases de la agilidad en la que radica su fortaleza. Cada mensaje consta de 3 partes como se puede observar en la Figura 2.7 y en la Tabla 2-6.

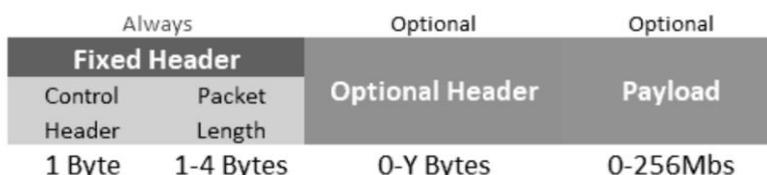


Figura 2.7. Estructura de un mensaje MQTT.

Siempre		Opcional	Opcional
Encabezado fijo		Encabezado Opcional	Contenido
Encabezado de Control	Longitud del paquete		
1 Byte	1-4 Bytes	0-Y Bytes	0-256Mbs

Tabla 2-6. Estructura de un mensaje MQTT.

- Cabecera fija. Ocupa 2 a 5 bytes, obligatorio. Consta de un código de control, que identifica el tipo de mensaje enviado, y de la longitud del mensaje. La longitud se codifica en 1 a 4 bytes, de los cuales se emplean los 7 primeros bits, y el último es un bit de continuidad.
- Cabecera variable. Opcional, contiene información adicional que es necesaria en ciertos mensajes o situaciones.
- Contenido (payload). Es el contenido real del mensaje. Puede tener un máximo de 256 Mb aunque en implementaciones reales el máximo es de 2 a 4 kB.

En esta sección se añade información de los valores obtenidos por la municipalidad de San Fernando del valle de Catamarca y el proceso de clasificación y la obtención del producto final.

2.6 Sensores

2.6.1 Sensor capacitivo

El sensor capacitivo basa su funcionamiento en la variación del campo eléctrico generado por sí mismo. Esta variación hace que la tensión de entrada tenga un cambio de acuerdo al material del elemento sensado realice sobre el campo magnético generado por el mismo sensor. Normalmente este sensor 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 el elemento sensible es el capacitor del circuito oscilante LC.

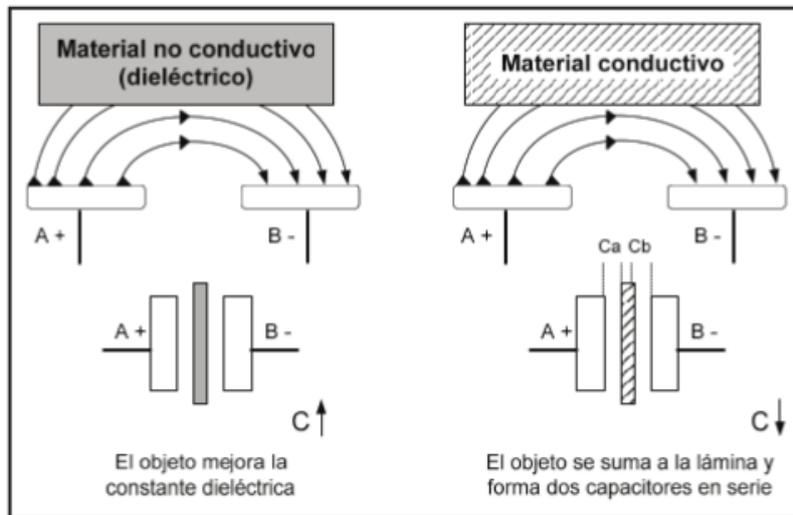


Figura 2.8. Funcionamiento de sensor capacitivo.

Cuando algún objeto o material es detectado, en la zona sensible se altera el campo eléctrico que se puede observar en la Figura 2.8, 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 .

Teniendo una configuración con cualquier número de electrodos tal como la mostrada en la Figura 2.9, la capacidad entre dos de los electrodos está dada por el cociente entre la carga inducida en uno de los electrodos y la diferencia de potencial entre los dos electrodos. Es decir:

$$C_{12} = \frac{Q_{12}}{V_1 - V_2}$$

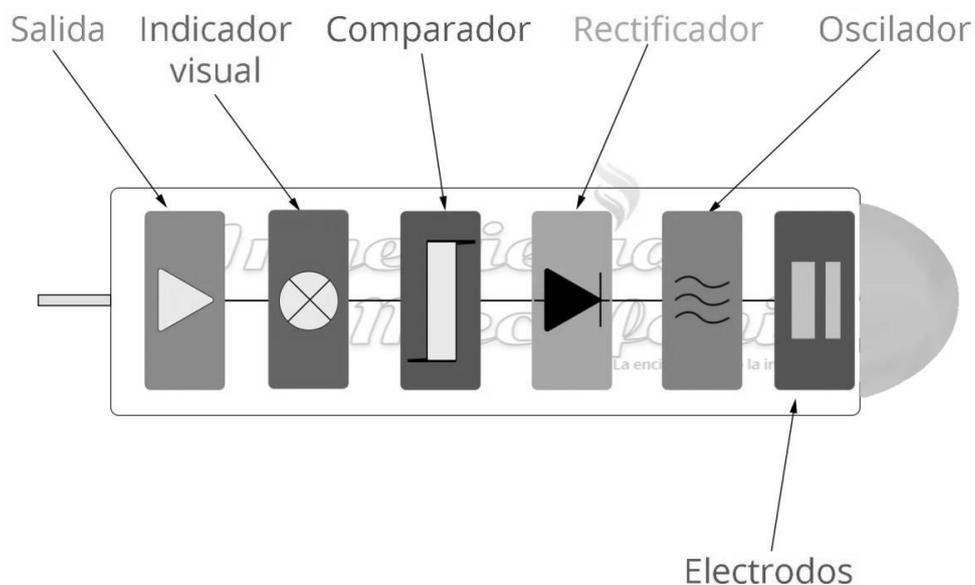
donde C_{12} ; es la capacidad entre los electrodos 1 y 2, Q_{12} es la carga en el electrodo 1 inducida por la diferencia de potencial ($V_1 - V_2$); V_1 es el potencial en el electrodo 1; y V_2 el potencial en el electrodo 2. Esto significa que el potencial de los otros electrodos no contribuye a la capacidad entre los electrodos 1 y 2.



Figura 2.9. Representación fundamental de la capacidad entre conductores.

La Figura 2.10 muestra el aspecto constructivo de un detector de proximidad capacitivo, así como el diagrama de bloques interno. Comercialmente se encuentran en forma cilíndrica (lisa o roscada), con el cuerpo metálico o plástico y en forma rectangular con la cabeza sensora orientable. La cabeza sensora contiene como mínimo, un par de electrodos que constituyen las placas de un condensador abierto. Estos electrodos están situados en el lazo de realimentación de un oscilador de alta frecuencia. Cuando no se tiene presente un objeto, la capacidad del sensor es baja y, por tanto, la amplitud de la oscilación es pequeña.

Cuando el objeto se aproxima a la cabeza sensora se incrementa la capacidad y, con ello, la amplitud de la oscilación, provocando la conmutación del circuito de salida del detector.



Ingeniería Mecafenix
Figura 2.10. Etapas del sensor capacitivo

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 ambiente existente y directamente por la composición del material. Los sensores capacitivos se utilizan normalmente para la detección de materiales no metálicos tales como se observa en la Tabla 2-7.

Materiales detectables no Metales	
vidrio	
ceramica	
plastico	
madera	
aceite	
agua	
carton	
papel	

Tabla 2-7-Materiales no metal detectable.



Figura 2.11. Sensor Capacitivo Forma Física.

Cuando un objeto se aproxima al área de Sensado y entra al campo electroestático de los electrodos, este cambia la capacitancia y genera cambios en un circuito oscilador, tal como lo se puede observar en la Figura 2.12. Dependiendo de la frecuencia de oscilación se manda una señal para que se cierre o se abra el circuito, todo dependiendo de las condiciones de oscilación.

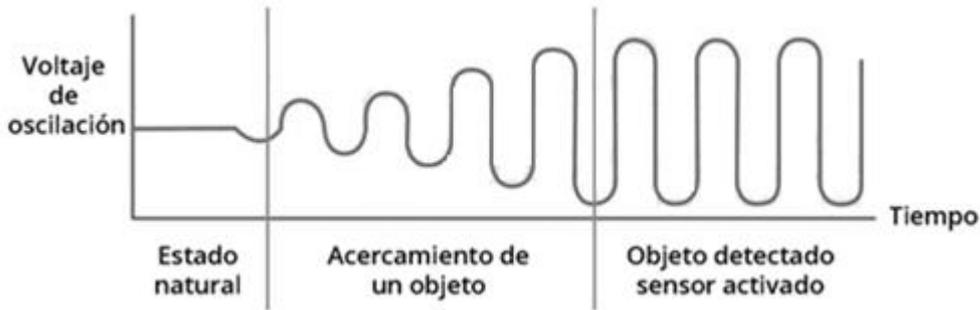


Figura 2.12. Oscilación del Sensor Capacitivo.

2.6.2 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 30 mm, aproximadamente, con una resolución del orden de décimas de milímetro. La ejecución mecánica se encuentra normalizada definiéndose los tipos detallados en la Tabla 2-8.

<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>

Tabla 2-8. Formatos de los Sensores Inductivos.

Los sensores detectan objetos metálicos situados en su campo de medición. Para ello, utilizan la interacción del objeto metálico como conductor eléctrico con el campo magnético alterno emitido del sensor. En el conductor eléctrico, se inducen corrientes

parásitas que extraen energía del campo y, por tanto, afectan el nivel de amplitud de oscilación.

El núcleo del sensor inductivo es una bobina, normalmente con un núcleo de ferrita, que permite que el campo magnético escape en una determinada dirección. El oscilador situado detrás del sensor utiliza un circuito resonante LC para generar un campo magnético alterno, que escapa de la superficie de detección del sensor, tal como lo ver la Figura 2.13. Las corrientes parásitas se inducen en el objeto metálico situado en el campo de medición y se encargan de extraer energía del oscilador. El nivel de la señal del oscilador cambia. A continuación, el cambio en el nivel de la señal conmuta la etapa de salida en sensores binarios a través de un Schmitt-Trigger. En los sensores de medición, este cambio en el nivel de señal afecta la señal de salida analógica en función de la distancia del objeto.

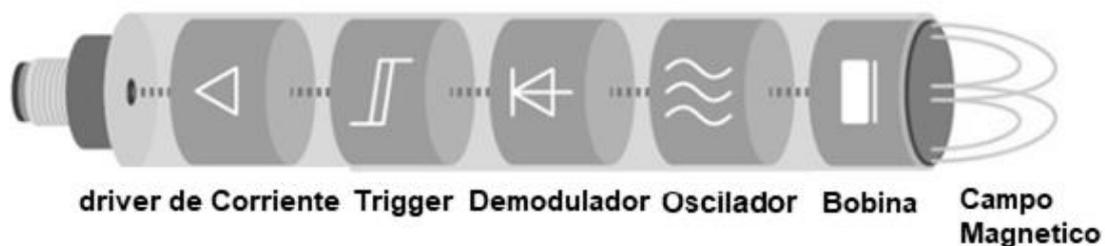


Figura 2.13. Etapas del Sensor Inductivo.

Todos los sensores inductivos se han desarrollado, fabricado y comercializado de acuerdo con la norma IEC/EN 60947 [4].

Historia de los sensores de proximidad inductivos

Walter Pepperl y Wilfried Gehl desarrolló y lanzó al mercado el primer sensor de proximidad inductivo de calidad industrial en 1958 [16]. En aquel momento, el desarrollo fue impulsado por la empresa BASF. BASF quería sustituir los contactos de conmutación mecánicos utilizados en ese momento para detectar mercancías con sensores de conmutación sin contacto que no causaban chispas de ruptura. La intención era reducir considerablemente los peligros de explosión. El primer sensor de proximidad inductivo fue diseñado con seguridad intrínseca de acuerdo con NAMUR. [4].

2.6.3 Sensor óptico

Sensor Fabricado por elaboración propia, tal como lo observar la Figura 2.14, en el cual su principal componente es un LDR (LDRs, *Light Dependen Resistors*, resistencias dependientes de la luz). La detección se produce cuando existe un haz de luz que es interrumpido o reflejado por algún objeto que se pretende sensar. Con base en esto, existen fundamentalmente por reflexión.

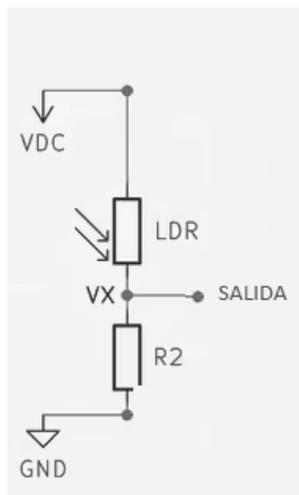


Figura 2.14. Sensor Óptico.

Reflexión:

A estos dispositivos lo conforman un cabezal que tiene inmerso el emisor de luz y el led receptor de detección, de esta forma se logra la reflexión del haz sobre el objeto sentido.

Símbolo de la LDR

Las LDRs son sensores resistivos basados en semiconductores empleados para la medida y detección de radiación electromagnética. El símbolo LDR como el que se puede observar en la Figura 2.15, utilizado en los circuitos se basa en el símbolo del circuito de resistencia, pero muestra la luz, en forma de flechas que brillan sobre ella. De esta manera sigue la misma convención utilizada para los símbolos de los circuitos de fotodiodos y fototransistores, donde las flechas se utilizan para mostrar la luz que cae sobre estos componentes.

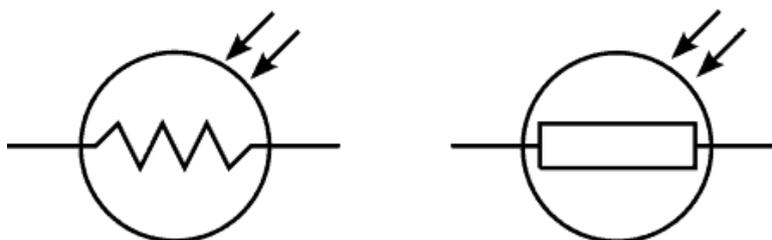


Figura 2.15. Sensor LDR.

Los símbolos del circuito de resistencia dependiente de la luz/fotorresistor se muestran tanto para el nuevo estilo de símbolo de resistencia, es decir, una caja rectangular y los antiguos símbolos del circuito de resistencia de línea zigzag. Esta resistencia funciona con el principio de la fotoconductividad. La fotoconductividad es un fenómeno óptico en el que la conductividad del material aumenta cuando la luz es absorbida por el material. Cuando la luz incide, es decir, cuando los fotones caen sobre el dispositivo, los electrones de la banda de valencia del material semiconductor son excitados a la banda de conducción. Por lo tanto, cuando la luz con suficiente energía incide en el dispositivo, más y más electrones son excitados a la banda de conducción, lo que resulta en un gran número de portadores de carga. El resultado de este proceso es que cada vez más corriente comienza a fluir a través del dispositivo cuando el circuito se cierra, y por lo tanto se dice que la resistencia del dispositivo ha disminuido. Este es el principio de funcionamiento más común de la LDR.

La relación entre la resistencia de la LDR y la iluminación L puede modelarse a partir de la ecuación: [8]

$$R_L = R_0 \left(\frac{L_0}{L} \right)^2$$

donde L es la iluminación (en lux), a es una constante que depende del material (entre 0,7 y 1,5) y R_L y R_0 son las resistencias a los niveles de luz L y L_0 respectivamente. La expresión se representa en la Figura 2.16

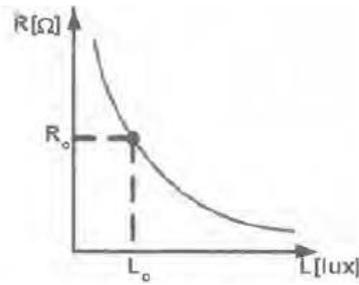


Figura 2.16. Relación resistencia-iluminación en una LDA.

2.7 Accionadores

En el marco del proyecto, se implementaron diversos accionadores para controlar y manipular los procesos mecánicos. Estos dispositivos, diseñados para convertir señales eléctricas en movimientos físicos, permitieron realizar operaciones precisas y repetitivas en tareas de apertura/cierre y transporte de materiales.

2.7.1 Motor paso a paso

Un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

En cuanto al principio de funcionamiento, estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

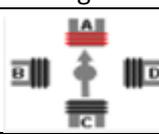
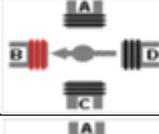
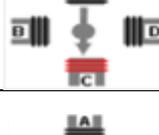
Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	Imagen
1	0	0	0	
0	1	0	0	
0	0	1	0	
0	0	0	1	

Tabla 2-9. Bobinas del motor paso a paso.

Se dividen principalmente en dos tipos: unipolares y bipolares.

Bipolares

Tienen generalmente cuatro cables de salida se observa en la Figura 2.17. Necesitan ciertas tensiones de excitación para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Un ejemplo de control de estos motores es el uso de un puente en H (H-Bridge). Será necesario un H-Bridge por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), se usan dos H-Bridges.

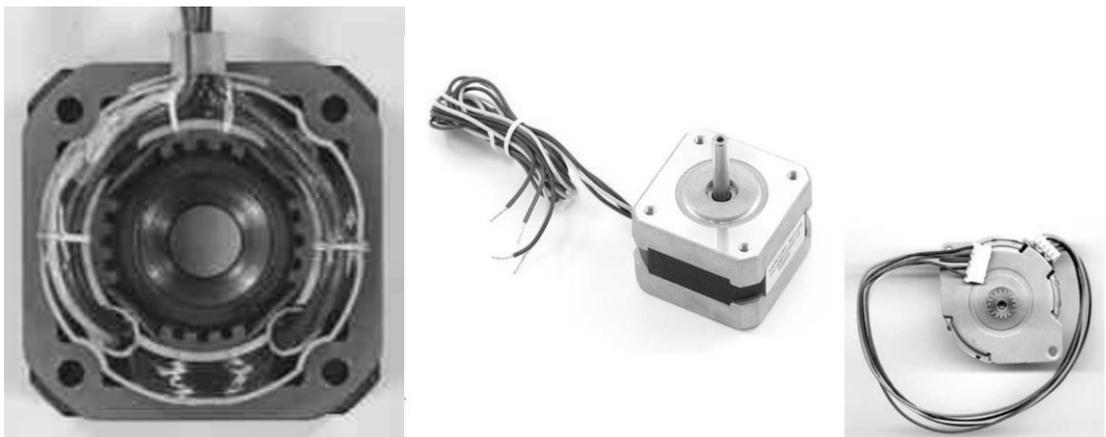


Figura 2.17. Motores paso a paso.

Unipolares:

Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexión interna (ver Figura 2.17). Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. Un ejemplo de conexionado para controlar un motor paso a paso unipolar mediante el uso de un

ULN2803, el cual es un arreglo de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas de hasta 500mA. Las entradas de activación (Activa A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por un microcontrolador.

2.7.2 Driver L298N

El driver L298N, que se detalla en la Figura 2.19, es un dispositivo que puede controlar el sentido de funcionamiento de motores a una corriente de salida por canal de hasta 2A. Este driver cuenta con un disipador de calor acorde a las características, puede trabajar hasta con un nivel de tensión de entrada de 46V, por seguridad se recomienda usar niveles de tensión algo debajo de este valor límite. Puede llegar a manejar un motor paso a paso de dos fases y cuatro fases, o dos motores de corriente continua. Este driver incluye un regulador de tensión 78M05 de 5V que se debe utilizar para regular un voltaje de entrada de hasta 12V, para voltajes de entrada superior a 12V se recomienda deshabilitar el jumper regulador y alimentar la parte lógica del módulo con una fuente externa de 5V. Este driver tiene gran capacidad de filtrado de ruido, cuenta con un diodo de protección ante corriente inversa, haciendo que su funcionamiento sea más estable y seguro.

Características:

Controlador L298N/ Doble Puente H.

Voltaje de alimentación: 5V~46V.

Corriente máxima: 2A por canal.

Voltaje de control de motores (salida con regulador activado): 5V.

Nivel de entrada de señal de control:

- Nivel alto $2.3V \leq V_{in} \leq V_{ss}$
- Nivel bajo: $-0.3V \leq V_{in} \leq 1.5V$

Consumo de corriente (lógico): 0 a 36mA.

Potencia de salida: 25W.

Luces indicadoras Encendido, control, dirección.

Temperatura de operación $-25^{\circ}C \sim +135^{\circ}C$.

Importante: si el jumper regulador está instalado (activado), se activará el regulador de tensión del L298N, tal como lo se puede observar en la Figura 2.18, y en 5V lógico se tendrá una salida de 5V, que se puede usar para lo que se dese, por ejemplo, para alimentar una placa Arduino (se recomienda que el consumo no sea mayor a 500mA).

- Cuando el jumper regulador de 5V se encuentra activado, el módulo permite una alimentación de entre 6V a 12V DC en V_{in} (ya que el regulador sólo funciona con tensiones hasta 12V), por encima de este valor se tendrá que quitar el jumper regulador y alimentar la parte lógica del módulo desde otra fuente.

- Si se introduce corriente por 5V lógico con el jumper regulador puesto se dañará el módulo.

- Si se quita el jumper regulador, se desactivará el regulador, y se necesitara alimentar la parte lógica del módulo, así que se deberá que ingresar una tensión de 5V por la conexión 5V lógico para que el módulo funcione.

El proceso de clasificación involucra varias etapas, desde la recolección de los materiales reciclables hasta su transformación en nuevos productos.

1. **Recolección:** El proceso comienza con la recolección de materiales reciclables. Esto puede hacerse a través de contenedores de reciclaje en la comunidad, programas de recolección puerta a puerta, puntos de entrega voluntaria o centros de reciclaje.

La recolección es la primera etapa esencial en el proceso de clasificación, donde se inicia el ciclo de transformación de residuos en recursos.

Esta fase no solo implica la recuperación física de los materiales descartados, sino que también establece las bases para una gestión eficiente de los recursos y una reducción significativa de la contaminación ambiental.

La implementación de estrategias efectivas de gestión de residuos es fundamental para garantizar el éxito de la etapa de recolección. Esto puede incluir la colocación estratégica de contenedores de reciclaje en espacios públicos, la organización de programas de recolección domiciliaria y la instalación de puntos de entrega voluntaria en lugares de fácil acceso para la comunidad. Asimismo, el establecimiento de sistemas de recolección selectiva permite la separación de los materiales en origen, facilitando su posterior procesamiento y reciclaje.

2. **Clasificación:** Después de la recolección, los materiales reciclables se transportan a plantas de reciclaje donde son clasificados. En esta etapa, se separan los diferentes tipos de materiales (papel, plástico, vidrio, metal, etc.) para facilitar su procesamiento.
3. **Trituración y limpieza:** Una vez clasificados, los materiales reciclables se someten a procesos de trituración y limpieza para eliminar contaminantes como etiquetas, residuos de alimentos, etc. Esto ayuda a preparar los materiales para su posterior procesamiento.
4. **Procesamiento:** Los materiales limpios y triturados se procesan según su tipo. Por ejemplo, el papel y el cartón se mezclan con agua para convertirse en pulpa, que luego se puede utilizar para fabricar nuevos productos de papel. El plástico se funde y se moldea en pellets que se pueden utilizar para fabricar una variedad de productos plásticos, y así sucesivamente con otros materiales.
5. **Fabricación de nuevos productos:** Los materiales reciclados procesados se utilizan para fabricar nuevos productos. Por ejemplo, el papel reciclado puede convertirse en papel de embalaje, el plástico reciclado puede convertirse en botellas, envases u otros productos plásticos, y así sucesivamente.
6. **Venta y distribución:** Los nuevos productos fabricados con materiales reciclados se venden y distribuyen en el mercado para su uso por parte de los consumidores.

El reciclaje se elige como una herramienta indispensable en la lucha contra la contaminación ambiental y la gestión sostenible de los recursos naturales. Para lograr

una efectiva implementación del proceso de clasificación, es crucial abordar con precisión dos etapas fundamentales: la recolección y la clasificación de los materiales.

ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

Según reuniones mantenidas con la empresa GIRO, el proceso que se estableció se rige por el siguiente diagrama de flujo. Ver Figura 2.20. [17]



Figura 2.20. Diagrama de flujo.

El proceso inicia colocando el elemento dentro de la máquina, este elemento se va a ubicar en el eje de distribución, donde mediante los sensores se clasificará el elemento y se lo depositara en su respectivo basurero, el proceso solo dará inicio cuando el eje de distribución se encuentre en su posición correcta, y cuando se presione el botón "INICIAR" en la pantalla Nextion. Una vez arrancado el proceso no se debe interrumpir, para una correcta clasificación, una vez finalizado el proceso de clasificación y el elemento fue depositado en su respectivo basurero, el eje de distribución volverá a su posición para una nueva clasificación.

2.9 Limitaciones impuestas al diseño

El presente trabajo se encuentra limitado por situaciones a las cual el diseño debe ajustarse:

- 1- El prototipo de la máquina clasificadora no fue diseñado para trabajar en ambientes inhóspitos. Por lo que, si se desea implementar en el basurero municipal, se deberá tener en cuenta las normas pertinentes de seguridad e higiene.
- 2- El espacio físico donde se la coloque a la máquina debe ser permanente, por lo que no puede moverse de ese sitio.
- 3- Se debe tener en consideración el peso del elemento que se va a clasificar, ya que el eje de distribución está diseñado únicamente para resistir elementos sin contenidos, en especial en caso de botellas.
- 4- El mecanismo de vaciamiento de los contenedores es manual.
- 5- Para su correcto funcionamiento se deben vaciar los basureros periódicamente.

2.10 Desarrollos del software

En esta sección se describe el desarrollo del software. Primero se desarrolla la programación del software embebido, las plataformas y entornos de desarrollo usados. Luego se describen las herramientas y el procedimiento llevado a cabo para obtener el software de interfaz de usuario del dispositivo.

2.10.1 Programación del dispositivo de control

2.10.1.1 Programación de ESP32

Para trabajar con ESP se pueden utilizar varias plataformas. En este trabajo se optó por el uso del entorno de desarrollo (IDE) que ofrece Arduino. Para comenzar a trabajar en esta plataforma primeramente se debe descargar un Plugging que permite asociar las placas ESP comercialmente activas a este IDE.

2.10.2 Software de interfaz de usuario

2.10.2.1 Sistema HMI

Un sistema HMI es una Interfaz Humano-Máquina, la abreviación se debe por su nombre en inglés: Human-Machine Interface. Es decir, es la interfaz entre el proceso y los operarios de una fábrica, una línea de producción, una empresa o cualquier sistema donde sea necesaria la operación por parte de un humano. Es un panel de instrumentos que el operario puede manipular para controlar un proceso. Es la principal herramienta que utilizan los operarios y los supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de un proceso complejo en información útil y procesable. En este proyecto se emplea la pantalla Nextion Enhanced Hmi 5.0" Nextion, que es una solución de interfaz hombre máquina (HMI) que combina un procesador integrado y una pantalla táctil de memoria con el software Nextion Editor para el desarrollo de proyectos HMI GUI. Se muestra en la Figura 2.21.

Diseño e Implementación de Prototipo de Sistema Automático de Clasificación y Separación de Residuos

Se seleccionó esta solución debido a la sencillez con que se puede crear GUI de interfaz hombre-máquina usando el entorno de programación brindada por el fabricante.

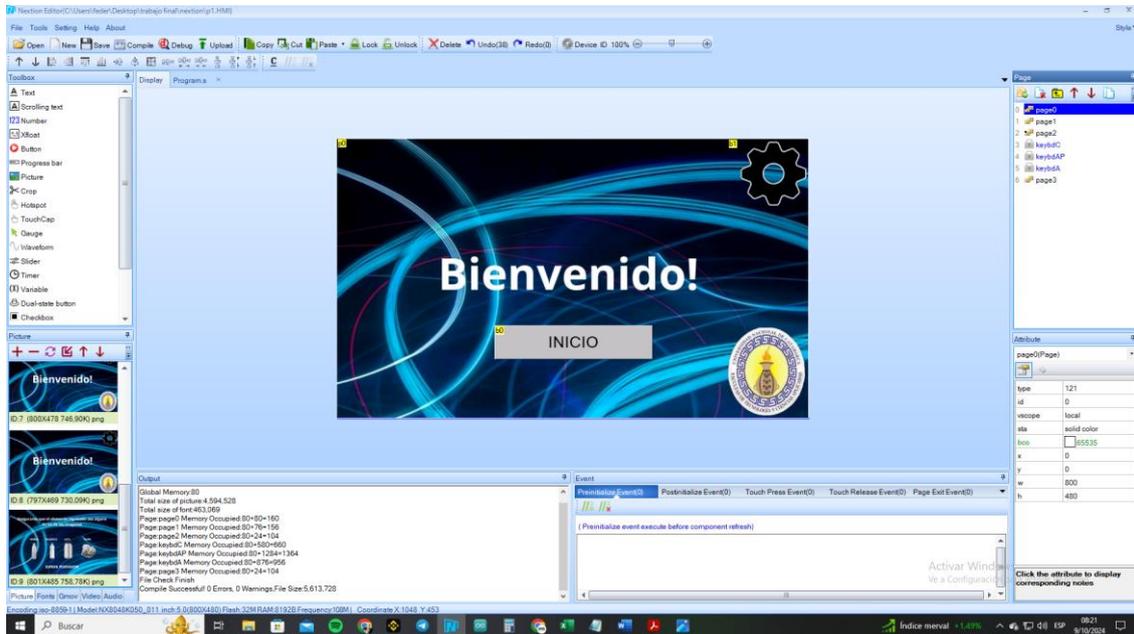


Figura 2.21. Editor Nextion.

Al tener un microprocesador integrado, se puede liberar al controlador de realizar algunas operaciones y limitarlo sólo a controlar la comunicación de datos. La función principal de este dispositivo en el sistema es permitir el ingreso de datos, por parte del operario y mostrar los datos acumulados acerca de cada basurero. Estos datos son:

1. Conexión a WIFI
2. Elemento Introducido en la maquina
3. Estado de Espera Introducción de elementos
4. Llenado de los basureros

Una vez que los datos de la conexión WIFI son ingresados, se puede poner en funcionamiento la máquina. Al colocar los elementos a clasificar en la maquina se debe enviar los datos a la red, para poder llevar un control a la distancia. Al terminar de ingresar los datos, el operador decide cuando la maquina comience a funcionar, para lo que se incorporó un botón de arranque para que el proceso comience cuando se considere que esté todo preparado.



Figura 2.22. Ingreso de información WIFI.

El programa almacena en una variable el dato de Usuario y en otra variable la contraseña, con respecto a la interfaz con el operario se implementó un teclado del tipo keybdAP para completar los datos de la contraseña mostrando con (*) ASTERISCOS lo escrito para mantener la privacidad de la cuenta WIFI. Ver Figura 2.22.



Figura 2.23. Ingrese su elemento a clasificar.

Por cada ciclo de clasificación se pone la pantalla en modo espera, como el que muestra la Figura 2.23, hasta que el eje de distribución vuelve a su lugar de origen para poder realizar una nueva clasificación. Por cada ciclo de clasificación, se pregunta si se desea volver a clasificar otro elemento; cuando finaliza un ciclo, se detiene la clasificación de los elementos hasta que el operador se encuentre listo para ingresar el siguiente elemento.

2.11 Software

2.11.1 Software embebido

Para comunicar máquinas entre sí se emplea el protocolo MQTT debido a su ligereza, su poco consumo de ancho de banda y porque permite comunicarse a través de la publicación/suscripción para tener una comunicación bidireccional real con acuses de

Diseño e Implementación de Prototipo de Sistema Automático de Clasificación y Separación de Residuos

recibo ágil. En el caso de MCUs, integrar MQTT en un procesador como ESP32 es muy sencillo gracias a la existencia de varias librerías. La más popular y conocida es la librería PubSubClient, que es un cliente MQTT para microprocesadores y dispositivos IoT.

2.11.2 Programación mediante NODERED

NodeRED es una herramienta de programación para conectar dispositivos de hardware, API's y servicios en línea. [6]. Proporciona un editor basado en navegador que facilita la conexión de flujos mediante la amplia gama de nodos de la paleta que se pueden implementar en su tiempo de ejecución con un solo clic. Como se lo puede observar en la Figura 2.24.

El entorno de ejecución se basa en Node.js y aprovecha al máximo su modelo orientado a eventos asíncronos.

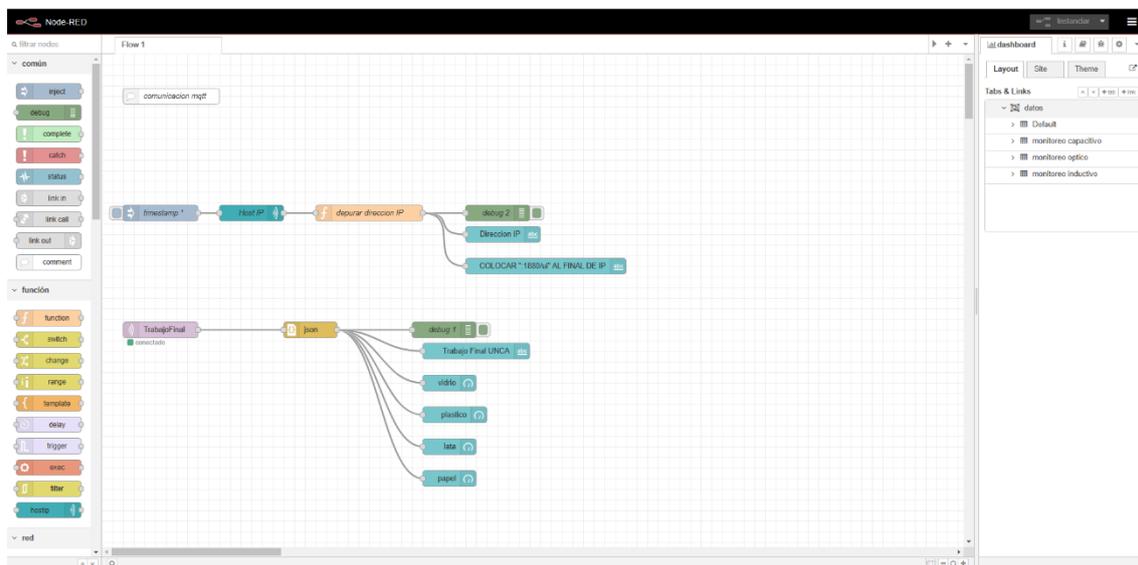


Figura 2.24. Diagrama NodeRed.

Lectura de datos en tiempo real

El intercambio de información se basa en el nodo MQTT, que proporciona una forma conveniente de enviar y recibir información. Como tópico mqtt se han creado tópicos a los que los distintos dispositivos puedan suscribirse y publicar. Cada bloque se configura con estos tópicos.

Datos históricos

El objetivo es el de enviar a la plataforma los datos recolectados, de forma que esta almacene, para su posterior procesamiento y muestre los mismos para la identificación de situaciones en los usuarios como se lo indica en la Figura 2.25. Para organizar la información se optó por usar una base de datos SQLite utilizando el nodo litedb en la plataforma NodeRED para crear tablas de bases de datos y almacenar datos. Internamente, el nodo litedb usa SQLite. SQLite es una base de datos relacional, que

no necesita procedimientos de configuración complejos, lo que la convierte en un sistema de administración de bases de datos ideal para sistemas integrados.

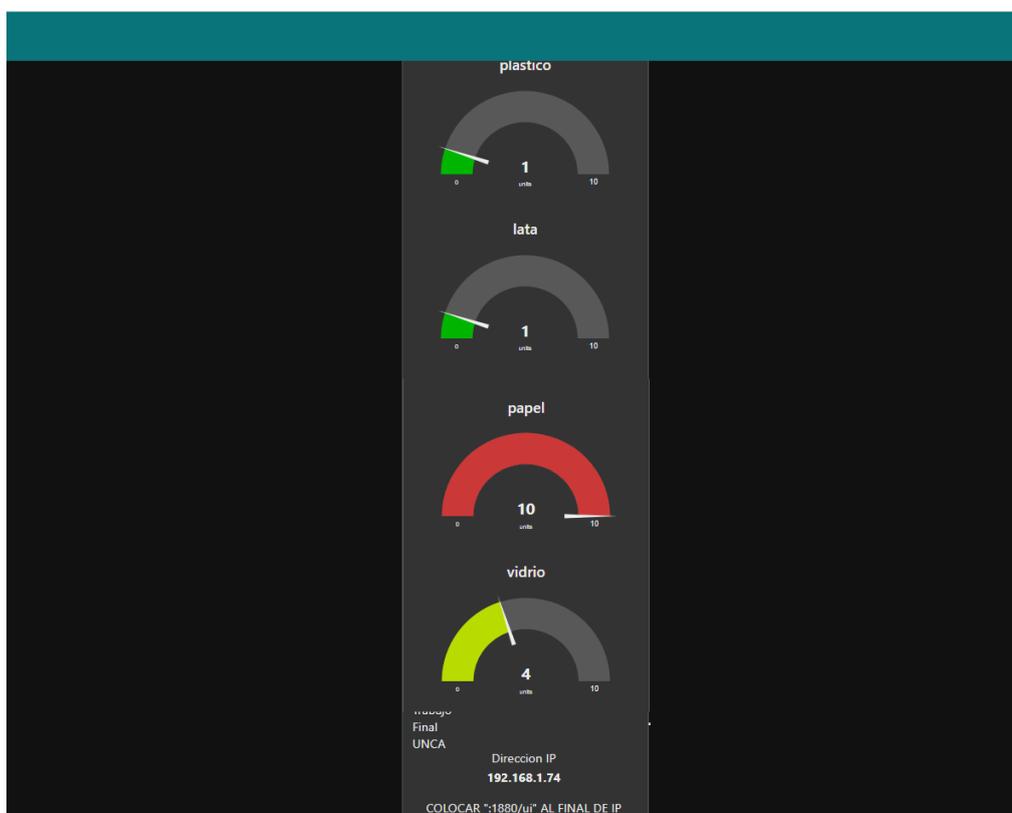


Figura 2.25. Databoard de NodeRed.

2.12 Sumario de los requerimientos

La solución propuesta aquí es la elaboración de un basurero inteligente que se encuentra compuesto por un sistema de control automático que separe los residuos (plástico, vidrio, residuos orgánicos y metales), utilizando sensores capacitivos, inductivo y óptico (elaboración propia). En el prototipo, internamente, va a alojar cuatro contenedores, avisará al encargado de este basurero cuando alguno de estos contenedores se encuentre lleno, para esto se implementa un contador de elementos que se lo va a ir mostrando por pantalla mediante comunicación mqtt por la aplicación NodeRed. En esos gráficos se podrá observar con distintos colores para marcar que tan próximo está a ser llenado o, si ya se encuentra lleno. Marca con color verde si se encuentra menos de la mitad, con color amarillo si ya se encuentra entre un 50% a un 80% de su total y con rojo si excede de este 80%, de esta manera poder cambiarlo inmediatamente. Esta comunicación con el encargado se realizará por medio de una red local conectado a un módulo wifi, en la cual se deberá ingresar a una página solicitada en el cual nos dará la información al respecto de dicho sistema. Para esta detección se implementó una tabla de la verdad que se puede observar en la Tabla 2-10.

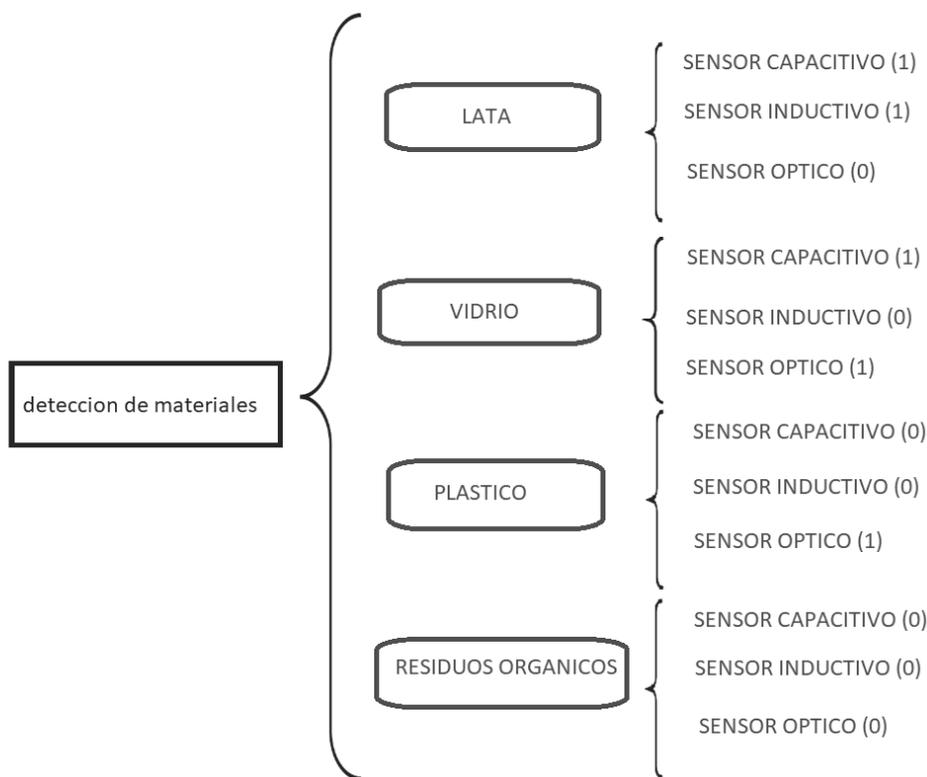


Figura 2.26. Diagrama de Tabla de la verdad.

Mediante esta Tabla de realizo un diagrama de la verdad, que se lo puede ver en la Figura 2.26, con el cual se puede observar que sensores son los que mandan una señal cada vez que se detecta una lata, un vidrio, un plástico o un papel o residuo Orgánico.

	SENSOR CAPACITIVO	SENSOR INDUCTIVO	SENSOR ÓPTICO
LATA	1	1	0
VIDRIO	1	0	1
PLASTICO	0	0	1
RESIDUOS ORGANICOS	0	0	0

Tabla 2-10. Tabla de la verdad.

Esta tabla proporciona la información requerida para la programación de la ESP32. En la cual para que detecte una lata tanto el sensor capacitivo como el inductivo deberán detectar un material y el óptico no deberá detectar ya que al ser un material que refleja y no refracta la luz proporcionada por los leds no será detectada. Para detectar una botella de vidrio, el sensor capacitivo y óptico se activarán ya que los rayos de luz refractarán el vidrio y el sensor óptico detectará la luz incidente y el sensor inductivo se activará. En el caso de una botella de plástico, el sensor óptico detectará los rayos de luz incidentes, pero ni el sensor capacitivo ni el inductivo captan elementos. En el caso de residuos orgánicos, ninguno de los sensores deberá detectar ningún elemento.

3 Capítulo III: Diseño implementado

Se realiza el análisis del elemento obtenido, es decir es un dispositivo donde se colocan los sensores de análisis y se recolectan datos. Se realizaron modificaciones a lo largo de la realización del proyecto con el objetivo de además de mejorar su estética, se mejoró su simetría, por lo tanto, su desplazamiento es menos forzado y este realizado con Filamento PLA CARBON de 1.75mm en el cual es hipoalergénico y de un material indetectable para los sensores implementados. Por lo que produce una baja tasa de Error de detección. En la Figura 3.1 se puede observar la modificación que se realizaron con respecto al eje de distribución anterior.



Figura 3.1. Evolución de eje de distribución.

El diseño de este eje de distribución se realizó mediante un programa llamado Tinkercad [18]. En el mismo se agregaron accesorios como lo es la ranura para el motor que maneja la apertura y cierre de la compuerta y se implementó una estructura cilíndrica para aumentar el deslizamiento de los materiales y para que los sensores capacitivos e inductivos tengan una mayor sensibilidad de detección.

Se agregó una tira de planchas led en la parte interna del cilindro para una correcta detección del sensor óptico, ubicada en una posición que no afecte el ingreso del material.

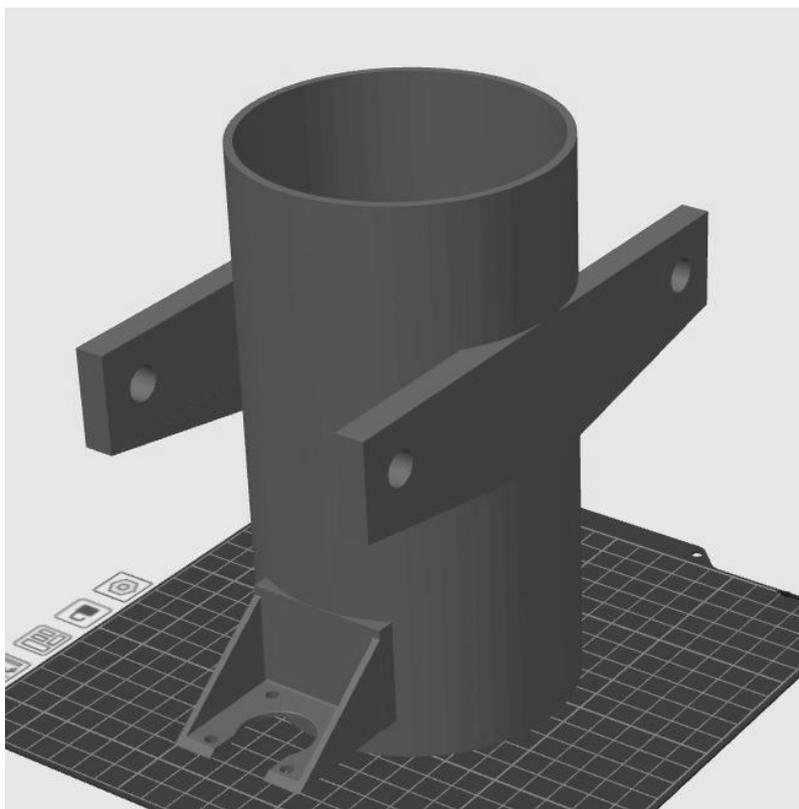


Figura 3.2. Eje de distribución terminado en Tinkerkad.

El eje de distribución cuenta con una compuerta inferior como muestra la Figura 3.3, en la cual va ubicado el sensor óptico y se abrirá cuando se encuentre sobre el basurero seleccionado, donde luego de depositar el residuo, el eje de distribución volverá a su posición inicial.



Figura 3.3. Compuerta de eje de distribución.

Diseño e Implementación de Prototipo de Sistema Automático de Clasificación y Separación de Residuos

En la Figura 3.4 se muestra el diagrama completo del sistema automático de clasificación y separación de residuos, generado por Blender [19].



Figura 3.4. Prototipo de sistema automático de clasificación y separación de residuos.



Figura 3.5. Formato inicial del prototipo.

Este trabajo se fue modificando, como muestra la Figura 3.5 el formato inicial del prototipo en el cual se encuentran ubicados los basureros y los elemento por el cual está conformado el proyecto son maderas y caños.

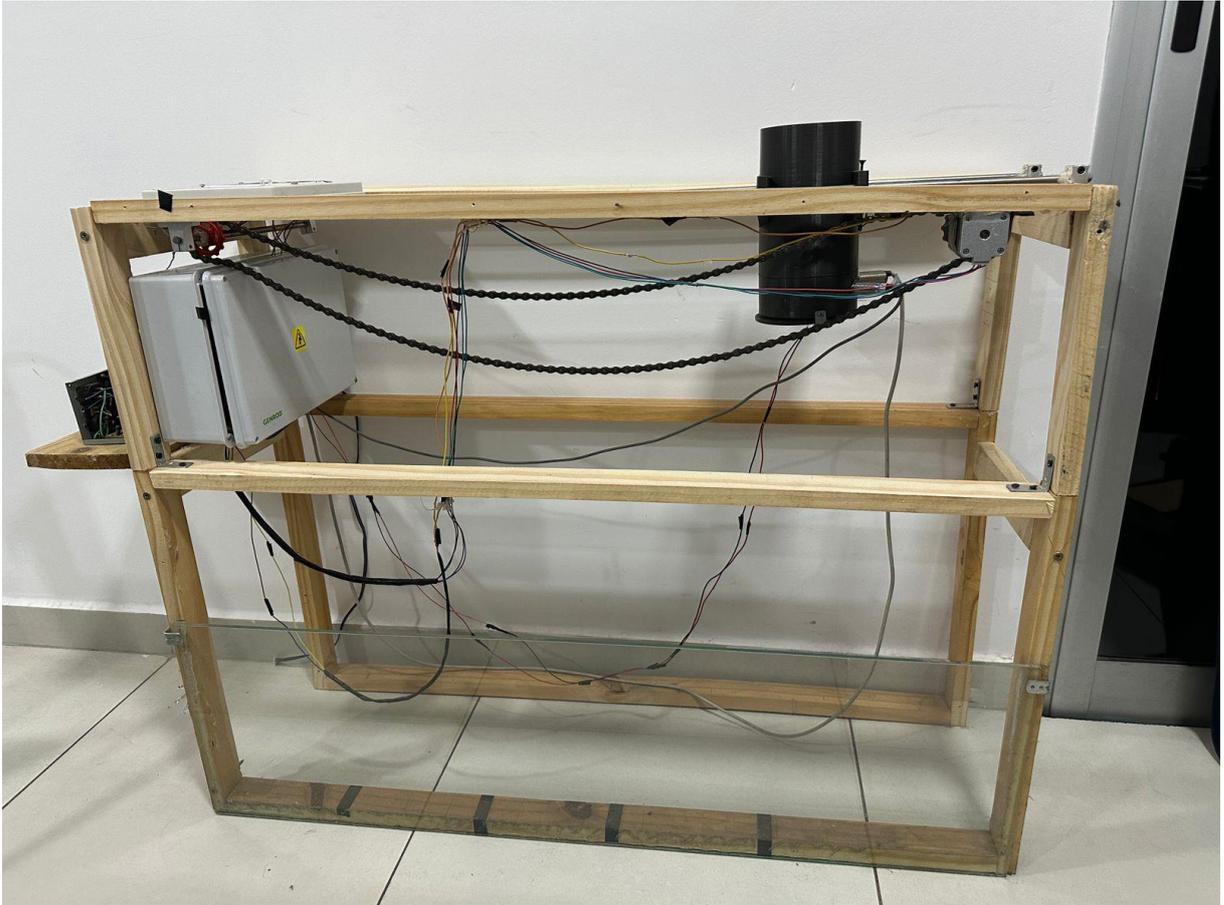


Figura 3.6. Formato interno del prototipo.

Internamente está compuesto por un riel y un eje de distribución en el cual se encuentran insertado los sensores industriales capacitivo, inductivo y óptico, los motores del proyecto forman una parte muy el cual se desplazará mediante un motor paso a paso como se muestra en la Figura 3.6 donde se observa el esqueleto del prototipo, los rieles y el eje de distribución en mayor detalle.

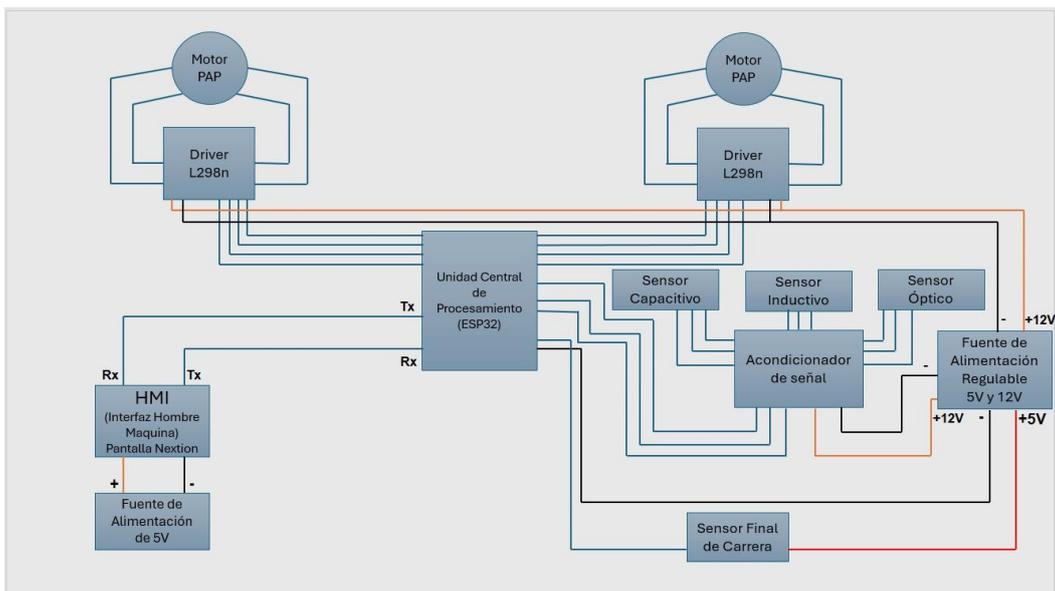


Figura 3.7: Diagrama de Bloques de Circuitos Electrónicos.

El circuito electrónico final está compuesto por sensores, adaptadores de señal y actuadores como se puede observar en la Figura 3.7 donde se observa el cableado en azul los portadores de comunicación, los de color negro son contacto de GND, con naranja los cables de alimentación de 12V y con rojo los cables portadores de 5V.

Como se observa, la pantalla tiene 2 cables de comunicación un Rx y un Tx los cuales son comunicación cruzada con respecto a los pines del micro Esp32.

El prototipo cuenta con una fuente de alimentación regulable con la cual alimenta los drivers L298n y mediante las borneras alimentar los motores PAP, el sistema cuenta con un driver L298n para el motor de apertura de compuerta y otra para el motor que desplaza el eje de distribución.

Como se puede observar se implementó un bloque de acondicionamiento de señal, en el cual se encuentra interconectado con los sensores (capacitivo, inductivo y óptico)

Ya que estos sensores arrojan un voltaje de señal de 12V y el micro ESP32 recibe señales de 3.3V a 5V.

El bloque de final de Carrera se utiliza para detectar al eje de distribución en su posición de inicio.

3.1 Cálculos de potencia

Consumo de sensor Capacitivo [3]

Histéresis: Máx. 20% de la distancia de detección

Corriente máxima de alimentación: 2.2 mA

Frecuencia de respuesta: 20 Hz

Corriente máxima de carga: 200 mA

Tensión de trabajo en Base: 12 V

Corriente de colector mínima: 1mA

ganancia de Corriente Continua hFE Mínima: 35

$$R_c = \frac{5v}{1mA} = 5k\Omega$$
$$I_B = \frac{1mA}{35} = 28.6mA$$
$$R_B = \frac{12v}{28.6mA} = 395.5k\Omega$$

Para la implementación de casos prácticos se implementaron resistencias de valor comercial muy próximas a los valores obtenidos en los cálculos anteriormente realizados.

$$R_B = 330k\Omega$$

$$R_c = 4.7k\Omega$$

Estos valores de resistencia se implementaron en el diseño de la placa para la polarización del transistor para la correcta lectura de los datos aportados por el sensor industriales capacitivo. El diagrama del circuito de detección del sensor capacitivo se lo puede observar en la Figura 3.8.

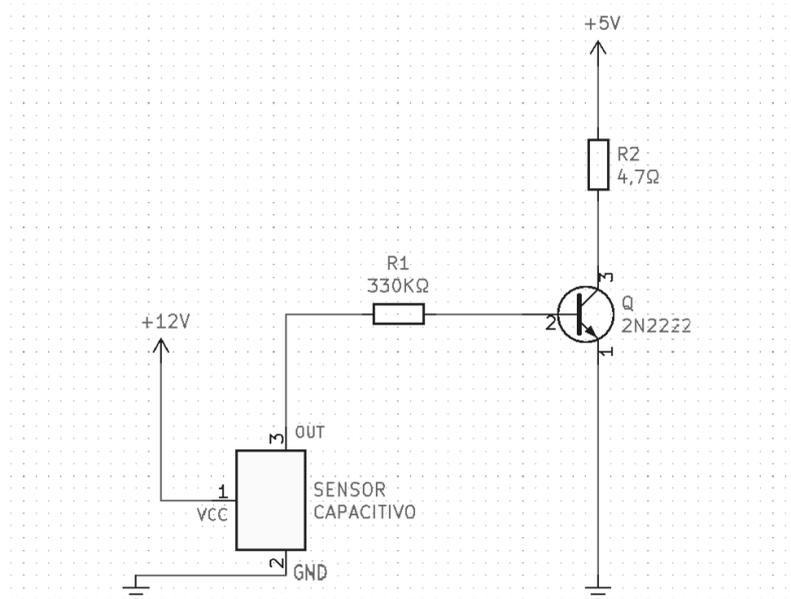


Figura 3.8. Diagrama del Circuito de detección de Sensor Capacitivo.

Potencia total consumida por el sensor capacitivo

$$P_c = I_c * V_c + I_B * V_B$$

$$P_c = 1mA * 5V + 28.6mA * 12V$$

$$P_c = 5mW + 34.3mW = 39.3mW$$

Consumo de sensor Inductivo

Histéresis: Máx. 70% de la distancia de detección

Tensión de trabajo en Base: 12 V

Corriente: 300 mA

$$R_c = \frac{5v}{1mA} = 5k\Omega$$

$$I_B = \frac{1mA}{35} = 28.6mA$$

$$R_B = \frac{12v}{28.6mA} = 395.5k\Omega$$

De igual manera que en el caso del sensor capacitivo, se tienen en cuenta los mismos valores de resistencias que para la implementación de casos prácticos; se implementaron resistencias de valor comercial muy próximas a la calculadas.

$$R_B = 330k\Omega$$

$$R_C = 4.7k\Omega$$

Estos valores resistivos se implementaron en la placa de detección de sensor inductivo como se puede observar en la Figura 3.9.

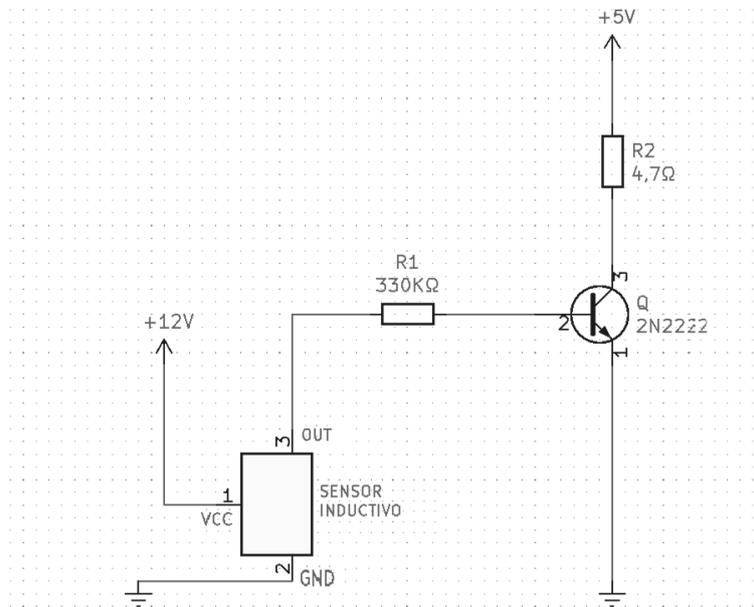


Figura 3.9. Diagrama del Circuito de detección de Sensor Inductivo.

Potencia total consumida por el sensor Inductivo

$$P_i = I_c * V_c + I_B * V_B$$

$$P_i = 1mA * 5V + 28.6mA * 12V$$

$$P_i = 5mW + 34.3mW = 39.3mW$$

Consumo de Motores

Nema 17 (compuerta)

Motor paso a paso bipolar Nema 17 con 4 cables y de 1. 8° por paso, con un consumo de 350mA y una tensión de 12 v por lo que tiene una potencia disipada de:

$$P_{n1} = 350mA * 12v = 4.2W$$

Nema 23 (sistema de desplazamiento)

Motor paso a paso bipolar Nema 17 con 4 cables y de 1. 7° por paso, con un consumo de 500mA y una tensión de 12 v por lo que tiene una potencia disipada de:

$$P_{n2} = 500mA * 12V = 6W$$

Consumo de Pantalla Tactil Nextion

Consumo Menores

Esta etapa se calculó se obtuvo de alimentación directa desde la placa ESP32 como es en el caso de los LEDS, el sensor óptico y Modulo Wifi.

$$P_{cm} = 80mA * 3.3V + \frac{3.3^2v}{1k\Omega} + \frac{3.3^2v}{1.2k\Omega} = 29.7\mu W + 10.89mW + 9.075mW = 19.99mW$$

Consumo total del proyecto

$$PT = 19.99mW + 6W + 4.2W + 3.62W + 2.42W + 2.42W = 18.66W$$

3.2 Diseños complementarios

3.2.1 Fuente Regulable

Se construyó una fuente regulable con el objetivo de transformar una señal de entrada de corriente continua de 5 o 12 voltios, que son las tensiones entregadas por una fuente PSU, y transformarlas en 3.3V que es la tensión requerida por la placa ESP32 y así detecte como un 1 lógico en la entrada. Esta modificación se realizó por el motivo que la Edu-CIAA trabaja con 5V de salida, por eso se tuvo que diseñar e implementar un regulador de tensión. Para esto se implementa un regulador LM317, que se observa en la Figura 3.10.

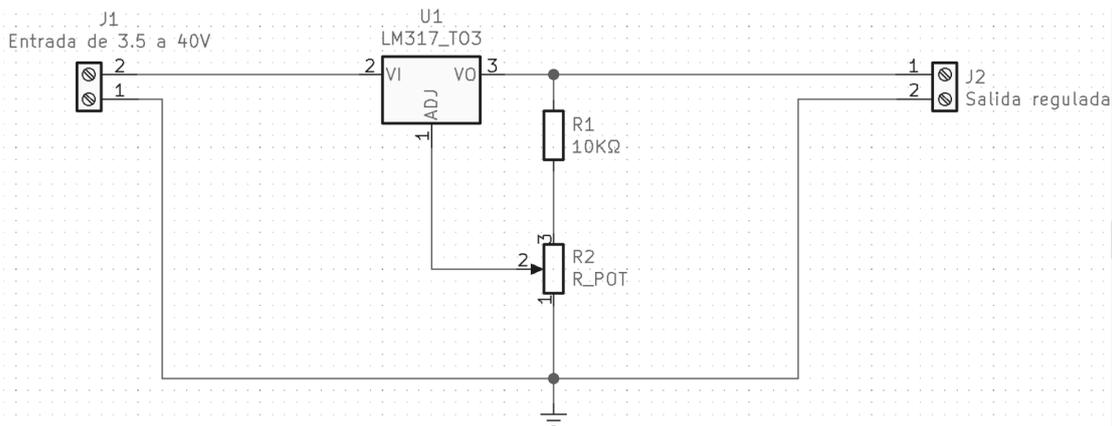


Figura 3.10. Regulador de voltaje con salida 3.3V.

Este Regulador fue diseñado con el propósito de obtener 3.3V en el colector del transistor 2N2222A ya que la tensión entregada por el sensor capacitivo y el inductivo es de 12V. Así, se tuvo que diseñar un circuito que convierta esta tensión en un valor legible para la ESP32.

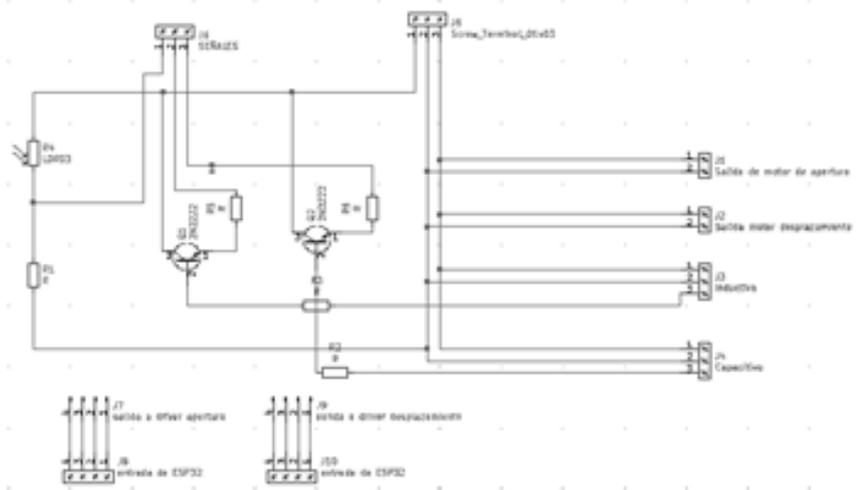


Figura 3.11. Circuito general de sensores y accionadores de clasificación.

Como se observa en la Figura 3.12 se diseñó un circuito de manera general con el objetivo de poder ahorrar espacios y poderla implementar en nuestra caja negra donde se va a colocar todos nuestros circuitos de forma ordenada.

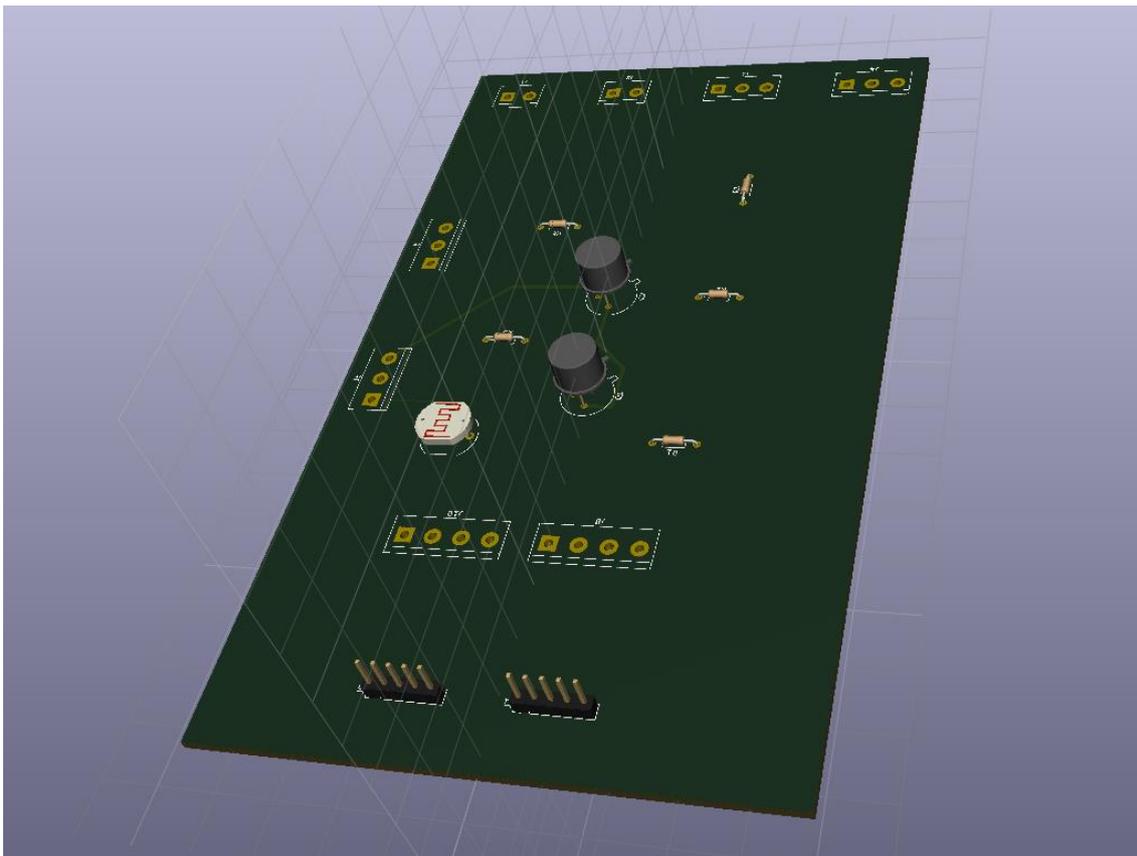


Figura 3.12. Placa 3D general de sensores y accionadores de clasificación.

Como se puede observar, el sensor óptico se implementó con un LDR que para su detección se realizó un divisor resistivo y la variación de este da la composición del material si es transparente o no. También se tiene en cuenta que en la placa diseñada se obtiene todas las salidas de los sensores con la información legible para que la

ESP32 obtenga los datos recolectados y pueda interpretar la composición del material. Así, se deposita en el basurero correcto mediante el eje de distribución.

3.3 Montaje de módulos

Los módulos realizados se montaron en una caja estándar GENROD de pvc de 310x210x100 mm. Se seleccionó esta medida para que todos los módulos entren, de forma tal de ocupar el mínimo espacio, respetando la distancia entre si ya que los módulos que controlan los motores calientan, además de la implementación de disipadores.

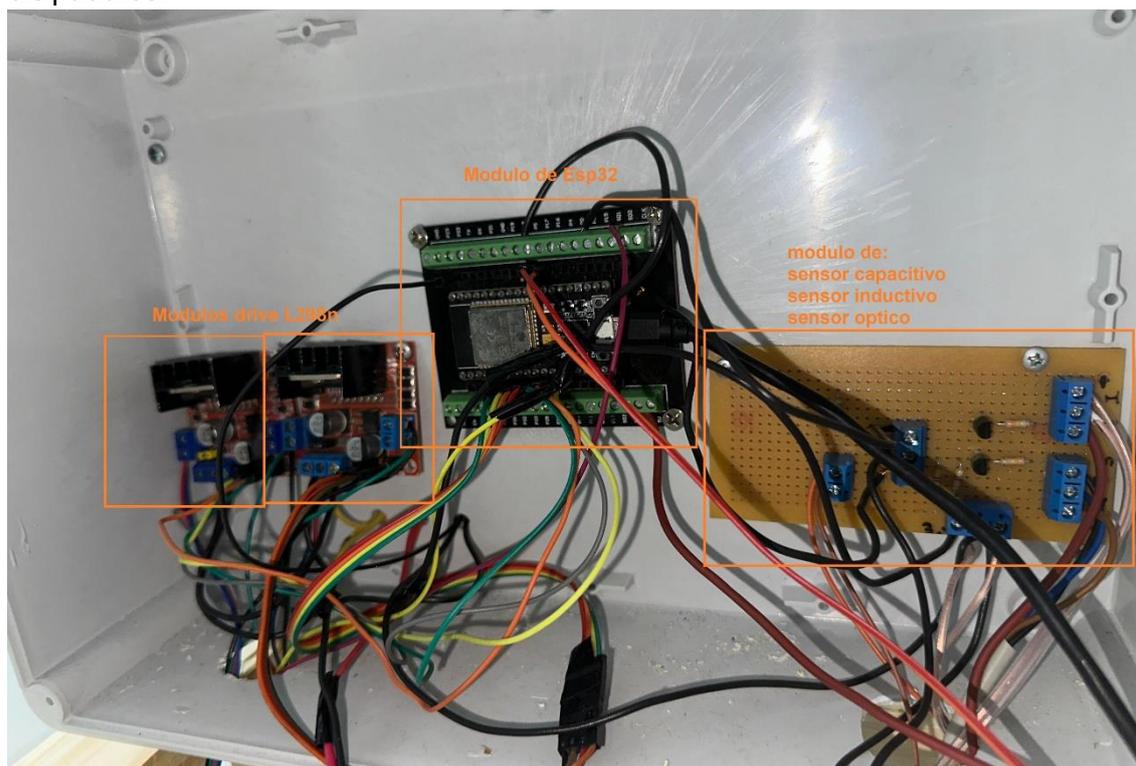


Figura 3.13. Detalle Gabinete de Control.

3.4 Fuente de Alimentación

Se implemento y se probó una fuente de alimentación de PC de la marca Linkworld [23] con múltiples salidas de continua con potencia de 230W, conectando a la entrada del circuito una tensión de control de 3.3V. Tanto el sensor Capacitivo como el sensor Inductivo y driver de los respectivos motores son alimentados con 12V. También se tuvo en cuenta que el sensor óptico para que entregue valores de lectura se lo debe alimentar con 5V como se observa en la Figura 3.14.



Figura 3.14. Fuente de alimentación Linkworld [23].

Para la tira Led que se encuentra interna al cilindro es alimentada por la fuente Linkworld con salida de 12V.

Por cuestiones de una mayor comodidad en la ubicación de la pantalla se implementó una fuente Switching de 5V.

4 Capítulo IV: Pruebas experimentales

Primero se hicieron pruebas de rutina cada componente por separado, y luego se probó a todos los componentes conectados.

4.1 Prueba 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 del motor paso a paso consistieron en verificar su sentido de giro, 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 con los eventos para cada estado y se midió la tensión generada en cada estado para comprobar el correcto envío de señal para el uno y el cero lógicos.

En la pantalla Nextion se realizaron pruebas de sensibilidad y se midió la tensión para verificar su correcto funcionamiento y comunicación con el módulo ESP32.

4.2 Prueba del sistema

Las rutinas implementadas en el código fuente fueron probadas realizando simulaciones de posibles situaciones a las cuales podría enfrentarse el sistema.

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.

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 derivaron las pruebas de eficacia cuyos resultados se relacionan a continuación.

4.3 Mediciones de eficiencia

Para estas pruebas se tomó un conjunto de 10 muestras por cada tipo de material, con los resultados detallados en la Tabla 4-1.

Tipo de material	Unidades identificadas correctamente	porcentaje	Pruebas realizadas
Plástico	20	80%	25
Metal	23	92%	25
Vidrio	21	84%	25
Papel	18	72%	25
TOTAL	82	82%	100

Tabla 4-1. Pruebas Realizadas.

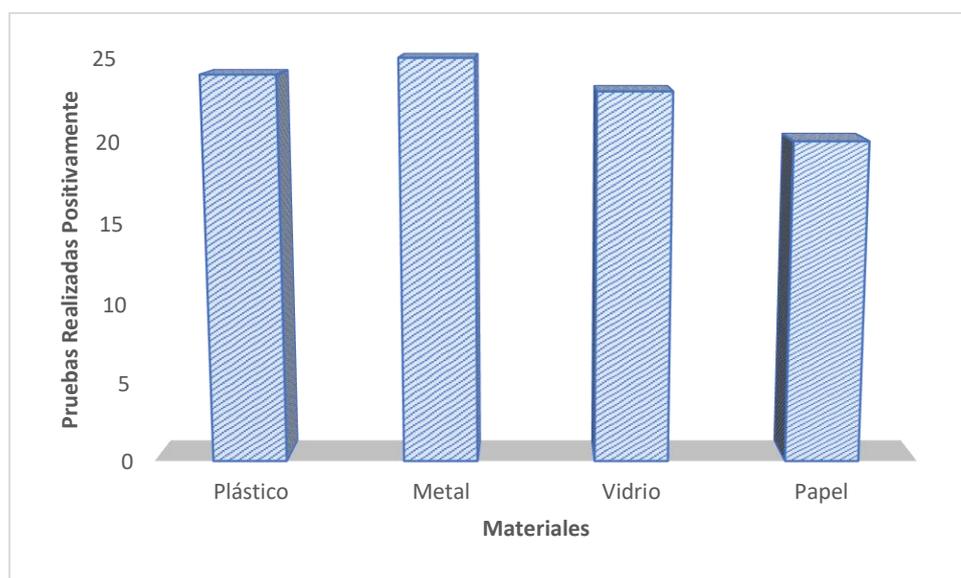


Figura 4.1. Gráfico Prueba de Eficiencia

De acuerdo con los resultados obtenidos, el sistema cuenta con una eficacia del 92% en la clasificación y separación de residuos.

Como se puede observar en Figura 4.1 se realizaron 25 pruebas por cada elemento (en total 100 pruebas) de las cuales el que tuvo un mayor grado de eficiencia son los metales, con 25 aciertos, luego en segundo lugar el plástico con un acierto de 24 elementos, en la siguiente posición esta los elementos de vidrio con 23 aciertos y por último papel con un acierto de 20 elementos.

Tipos de Material	Materiales	Pruebas Aprobadas	Nº Aprobadas
Vidrio	botella cerveza miller 310ml	100%	5
Vidrio	botella vino blanco chacabuco 750ml	100%	5
Vidrio	frasco de mermelada 454gr	80%	4
Vidrio	botella de coca cola 310ml	80%	4
Vidrio	vaso de vidrio de 450ml	60%	3
Plastico	botella Agua Glaciar 750ml	80%	4
Plastico	botella Agua Villavicencio 750ml	100%	5
Plastico	botella Coca-Cola 500ml	80%	4
Plastico	botella Fanta 500ml	80%	4
Plastico	botella Sprite de 500ml	60%	3
Metal	vaso termico stanley 450ml	100%	5
Metal	lata de cerveza Quilmes 473ml	100%	5
Metal	lata de choclo marolio 300gr	100%	5
Metal	lata de tomate perita marolio 400gr	60%	3
Metal	lata de cerveza Heineken 473ml	100%	5
Papel	Bola de Papel	80%	8
Papel	Bola de Cartulina	80%	4
Papel	Bola de Carton	60%	6

Tabla 4-2 Tabla de Pruebas con productos.

Como se puede observar en la Tabla 4-2 se realizó un listado con los elementos que se decidió implementar como elementos de pruebas, los elementos utilizados para la evaluación de eficiencia fueron elementos estándares que se pueden adquirir en cualquier comercio, que respetan las medidas del diseño del cilindro distribuidor.

Estas pruebas fueron realizadas en un ambiente controlado, con un sistema de temperatura ambiente de 24°C.

4.4 Viabilidad y Mantenimiento

4.4.1 Tabla de mantenimiento

Atención

Es obligación del personal de mantenimiento, trabajar con la máquina sin energía y emplear los elementos de protección personal: Calzado de seguridad y guantes.

Se deberá realizar una intervención del proceso para su mantenimiento de forma diaria, semanal y mensual como se puede observaren la Tabla 4-3

Intervalo de mantenimiento	Procesos
Diario	Inspección visual de los movimientos, sensores y actuadores.
	Control del estado del eje de distribución.
	Control del correcto sellado de la tapa de acrílico.
Semanal	Control de peso y densidad de los elementos clasificados.
	Limpieza y engrasado de encadenado.
	Limpieza completa de los sensores.
Mensual	Control y ajuste tensión de cadena del mecanismo de nudo.
	Limpieza completa en seco de toda la maquinaria.
	Análisis de deformación de la tapa de apertura.
	Prueba de correcto funcionamiento.

Tabla 4-3. Tabla de mantenimiento.

4.4.2 Desgaste de componentes

El principal elemento que va a sentir su desgaste es el sensor óptico diseñado por elaboración propia y es un elemento que se encuentra en la base del eje de distribución por lo que los elementos caen sobre el mismo, haciendo que este sensor sufra un mayor desgaste y requiera un mayor mantenimiento.

Luego está el caso de los sensores industriales tanto capacitivos como inductivos fueron elaborado bajo ciertas normas APA y por su medición a distancia, esta clase de sensores no recibe un gran desgaste por lo que tiene una alta vida útil.

Para los motores tiene un desgaste muy bajo siempre y cuando se respeten los pesos y las dimensiones de los elementos por lo que su desgaste sería su bobinado interno en el transcurso de un largo plazo.

Elementos	Mantenimiento	Vida útil
Motor nema 17	1 vez al mes	6000hs
Motor nema 14	1 vez al mes	6000hs
Sensor óptico	2 vez al día	500hs
Sensor Capacitivo	1 vez a la semana	1000hs
Sensor Inductivo	1 vez a la semana	1000hs
Final de Carrera	1 vez a la semana	1000hs
Driver L298n	1 vez al día	350hs
Planchuela led	1 vez al mes	1000hs

Tabla 4-4 Tabla de mantenimiento y vida útil de los elementos.

Como se puede observar en la Tabla 4-4 se muestra el mantenimiento de cada uno de los elementos electrónicos que forman parte del prototipo teniendo en cuenta que estos elementos se encuentran en un ambiente de temperatura controlada, con esta tabla se tendrá en cuenta para el análisis e implementación de los costos de mantenimiento para su implementación.

4.4.3 Costos de Mantenimiento

Los costos de Mantenimientos están directamente relacionados con los valores obtenidos en el Tabla 4-4.

Elementos	Precios
Motor nema 17	\$ 50.908,00
Motor nema 14	\$ 37.000,00
Sensor óptico	\$ 3.000,00
Sensor Capacitivo	\$ 83.740,00
Sensor Inductivo	\$ 20.000,00
Final de Carrera	\$ 2.000,00
Driver L298n	\$ 6.500,00
Planchuela led	\$ 4.500,00

Tabla 4-5 Tabla de precios.

Como se puede observar en la Tabla 4-5 se encuentra cada elemento con su precio por unidad, con estas tablas se puede obtener el costo de mantenimiento a una determinada cantidad de horas de uso.

5 Capítulo V: Discusión y 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, se concluyó que, con el uso de sensores inductivos, capacitivos y óptico se logra caracterizar los diferentes materiales de residuos propuestos para la identificación.

De acuerdo con 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 resultados óptimos en la separación de residuos.

El prototipo cuenta con limitaciones en su zona de trabajo, por la implementación de un sensor óptico en su base, este sensor también hace limitante la limpieza del producto que se va a tirar como residuo ya que podría ensuciar al mismo e impedir un sentido

correcto, también se deberán utilizar únicamente los productos que se encuentran en análisis como lo son el papel, vidrio, plástico y metal.

De las pruebas realizadas al sistema de control se concluyó que el consumo generado es 18,6W. Para las pruebas con los diferentes tipos de materiales se logró concluir que el sistema logra una eficacia del 82%, pero ese porcentaje está ligado al correcto uso del sistema.

Se estuvo investigando y realizando proyectos basados en análisis de imagen con la ayuda de inteligencia artificial, donde se pudieron obtener mejores resultados a lo largo de un determinado tiempo y cantidad de pruebas. A medida que fueron pasando las muestras se adaptó el sistema logrando mayor certeza en la identificación del material. También cuenta con un abanico de posibilidades de materiales por identificar, este tipo de tecnología se puede complementar perfectamente con la tecnología implementar en este prototipo, ya que analizaría mediante imagen y mediante su composición. En las pruebas mencionadas se implementó una red neuronal predefinida llamada Yolo v5 donde se muestra su desarrollo en el apartado Capítulo VI: Trabajos Futuros.

6 Capítulo VI: Trabajos Futuros

El trabajo realizado representa el inicio de una serie de proyectos de automatización del sector de reciclaje, con el objetivo de lograr procesos seguros, eficientes y con la posibilidad de contar con datos en tiempo real, de forma remota.

como proyecto futuro se podría elaborar una maquina a escala industrial con una etapa de post selección con tecnología que separe de manera segura para disminuir el error de clasificación, insertando elementos previamente clasificados por la planta reciclable, y elaborando las piezas de este trabajo de un material de mayores propiedades.

Una segunda etapa del proyecto consiste en establecer un sistema de detección mediante cámaras, implementando análisis de imagen mediante IA [20]. Con el objetivo de que el proceso de detección sea menos aparatoso y obtener una mayor velocidad de detección en grandes cantidades, obtener de manera más rápida una mayor cantidad de elementos detectados, y al estar hablando de elementos reciclados muchas veces al obtener el contacto entre los elementos y los sensores, provocaría un mayor desgaste de estos. Para esta etapa se sugiere utilizar redes neuronales Inteligentes prediseñadas, como lo es la red de YOLO, y con los datos obtenidos poder hacer cálculos y gráficos de la Media, Mediana, entre otras variables que nos ayudan a un mejor estudio de la situación actual.

Aplicando IA con Yolo [20], se separa la sección modular de la maquinaria de clasificación, como lo son las cámaras y el área de procesamiento de imágenes, el cual deberá contar con un diseño particular para poder aislar esta área con respecto a la sección de clasificación hidráulica.

Una tercera etapa contempla la automatización del sector de separación de los residuos, implementando brazos robóticos para la separación.

Una cuarta etapa sería el análisis de imagen para un testeo de calidad de los productos reutilizables, de esta forma al separar estos elementos se establece cuáles serán reubicados y cuáles serán eliminados.

7 Referencias

- [1] Universidad Tecnológica Nacional de Paraná URL <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/handle/20.500.12272/8166>
- [2] Hoja de datos pantalla Nextion. <https://nextion.tech/datasheets/nx8048k050/>, accedido el 6/11/20204.
- [3] Hoja de datos del Sensor Capacitivo. <https://www.globaltestsupply.com/pdfs/cache/www.globaltestsupply.com/cr18-8ac/datasheet/cr18-8ac-datasheet.pdf>. Accedido el 6/11/2024.
- [4] Hoja de datos del Sensor Inductivo <https://datasheet.es/stock/price.php?item=LJ12A3> . Accedido el 7/11/2024.
- [5] Hoja de datos del Motor paso a paso https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Nema17%20datasheet&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA57G5BhDUARIsACgCYnx8w5RTYotXdH5dnwtZX4TonIXjFOPjzio65yTOXQ5aAfCmbmfvDtQaAvuqEALw_wcB . Accedido el 7/11/2024.
- [6] Página oficial nodered <https://nodered.org/> Accedido el 7/11/2024.
- [7] Hojas de datos del SP32. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf. Accedido el 4/11/2024.
- [8] Miguel A Pérez García. Instrumentación Electrónica.
- [9] L. Luis. ¿qué es mqtt? su importancia como protocolo iot, 2019. URL <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>.
- [10] ¿qué es el modelo osi? URL <https://www.cloudflare.com/es-es/learning/ddos/glossary/open-systems-interconnection-model-osi/>.
- [11] R. P. Moreno. Ingeniería de la automatización industrial.
- [12] J. Kurose. Redes de computadora.
- [13] Que es PET? URL https://serveiestacio.com/blog/que-es-el-pet/?srsltid=AfmBOooW_IpiK-qr2hLuU66sTFxz2-C6JvDLjIDFGHjqR-2ZixlPy-jx/.
- [14] Motor nema 17. datasheet URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1572377/ETC/NEMA17.html>
- [15] ESP32. datasheet URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1148023/ESPRESSIF/ESP32.html>

[16] Sensor inductivo. URL: <https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/39731.htm#:~:text=Historia%20de%20los%20sensores%20de,por%20la%20empresa%20vecina%20BASF>.

[17] Punto Giro Catamarca URL: <https://giro.catamarcacapital.gob.ar/puntos-giro/>

[18] Tinkercad URL: <https://www.tinkercad.com/>

[19] Blender URL: <https://www.blender.org/>

[20] YOLO V5 URL: https://github.com/fededb1/trabajo-final/blob/basurero/Clasificaci%C3%B3n_con_Inteligencia_Artificial.ipynb

[21] LM317 datasheet URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/1147586/ARTSCHIP/LM317.html>

[22] ESP32 WROOM Generic DevKit. URL: <https://www.upesy.com/blogs/tutorials/esp32-pinout-reference-gpio-pins-ultimate-guide>

[23] <http://www.linkworld.com.tw/>. Accedido el 4/12/2024.