DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT MANEJANDO HERRAMIENTA SBC PARA UN CONTENEDOR AUTOMATIZADO DE RECICLAJE EN LA SEDE BICENTENARIO DE LA IUCMC.

BRAYAN ALBERTO ORDOÑEZ VELASCO

ALFONSO BURBANO MERA

INGENIERÍA INFORMÁTICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DEL CAUCA

POPAYÁN

2023

DESARROLLO DE UN SISTEMA IOT MANEJANDO HERRAMIENTA SBC PARA UN CONTENEDOR AUTOMATIZADO DE RECICLAJE EN LA SEDE BICENTENARIO DE LA IUCMC.

Proyecto de Grado – Prototipo presentado para optar por el título de INGENIERO EN INFORMATICA.

Director del trabajo de Grado:

Mg(c). STIVENS ANTONIO DIONIZIO SOLARTE.

Codirector del trabajo de Grado:

Ing.(e). ALVARO PITO BURBANO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIO MAYOR DEL CAUCA

POPAYÁN

2023

NOTA DE ACEPTACION

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Firme del presidente de Jurado

_____

Firma Jurado

_____

Firma Jurado

Fecha:

BRAYAN ALBERTO ORDOÑEZ VELASCO DEDICATORIA 1

Este trabajo de grado está dirigido de todo corazón y con todo mi amor a las personas que me apoyaron incondicionalmente a lo largo de este largo trayecto que son mi madre y mi hermana, que gracias a su apoyo tanto moral como económico lograron que este proyecto pueda llevarse a cabo y ser culminado de la mejor manera.

También quiero hacer un apartado a todas personas que me acompañaron a lo largo de mi proyección como ingeniero que serían mis compañeros y amigos que con sus consejos y compañerismo logre culminar de manera íntegra este escalón que se presenta en mi vida.

Quiero hacer una dedicación a mis profesores que a lo largo de estos años gracias a su sabiduría y formación lograron que me convirtiera en una persona ejemplar para la sociedad encareciendo de manera fortuita mi personalidad utilizando una de las herramientas más poderosas a lo largo de la historia como es el dialogo ya que más que una relación de alumno profesor los considero un amigo más.

Agradecer a mi compañero Alfonso Burbano ya que sin el este proyecto no podría haberse llevado a cabo gracias al esfuerzo mutuo que se efectuó de cada uno de nosotros logramos culminar de manera satisfactoria este peldaño que se impuso en nuestra vida como un reto, pero que logramos disfrutar y aprender de cada error.

Por último quiero agradecer a la facultad de ingeniería por ser tan permisivos con nosotros gracias a esto este proyecto pudo ser culminado y también por su ayuda incondicional a lo largo de los últimos años gracias a todos y cada uno de sus funcionarios.

ALFONSO BURBANO MERA DEDICATORIA 2

Con profundo cariño y gratitud, dedico este proyecto de grado a mi padre, quien ha sido mi faro inquebrantable a lo largo de esta travesía. Su apoyo incansable, tanto moral como financiero, ha sido el pilar que ha permitido que este sueño tome forma y se materialice en estas páginas.

Desde los primeros pasos inciertos en este camino, hasta cada desafío superado y logro alcanzado, tu presencia ha sido mi mayor fortaleza. Tus palabras de aliento resonaban en mi mente en los momentos de duda, recordándome que soy capaz de enfrentar cualquier obstáculo. Cada inversión que hiciste, no solo en términos económicos sino también en tiempo y dedicación, ha sido un testimonio del profundo compromiso que tienes hacia mi desarrollo y éxito.

Recuerdo con emoción las largas noches en las que me brindabas tu sabiduría y experiencia, guiándome con paciencia a través de los laberintos conceptuales y desafíos académicos. Tu apoyo moral ha sido un faro que iluminó mi camino en los momentos más oscuros, recordándome constantemente la importancia de la perseverancia y la pasión.

Cada logro que celebro en este proyecto es un tributo no solo a mi arduo trabajo, sino también a tu dedicación como padre. Tus valores de tenacidad, dedicación y compromiso han sido los cimientos sobre los cuales he construido mi camino hacia el éxito. Tu ejemplo ha dejado una huella imborrable en mi mentalidad y en la forma en que enfrento los desafíos.

Este trabajo, que ahora culmina de manera satisfactoria, lleva consigo la esencia de tus enseñanzas y el amor que has depositado en mí a lo largo de los años. En reconocimiento a tu inquebrantable apoyo y amor incondicional, este proyecto no solo representa mi crecimiento académico, sino también la profunda gratitud que siento por tener a un padre excepcional como tú.

A ti, mi querido padre, va dedicado este esfuerzo culminante, como expresión sincera de mi profundo agradecimiento y amor. Que este logro que ahora compartimos sea un reflejo de la relación única que tenemos y un recordatorio eterno de que los sueños se alcanzan cuando se tiene a alguien tan extraordinario caminando a nuestro lado.

AGRADECIMIENTOS

Reconocer a mis profesores por su contribución a lo largo de estos últimos 5 años, en los cuales me inculcaron con conocimientos y gracias a estos poder culminar con mis estudios superiores, además que con algunos encontramos más que una relación de estudiante-alumno una amistad.

A mi universidad y sus directivos, por permitirnos unas instalaciones optimas y con su trabajo continuo para poder realizar nuestros estudios de la mejor manera.

A mis compañeros que estuvieron a lo largo de este trayecto dándonos apoyo tanto moral como educativo, por tolerarme y por seguir a mi lado aun cuando sé que mi carácter no es del agrado de todo el mundo y así permitirme estar donde estoy hoy mil gracias.

RESUMEN

El reciclaje ha sido uno de los métodos a tratar a lo largo del tiempo debido a la gran cantidad de residuos que se desechan en todo el mundo, ya que permite darle una nueva vida a un material que fuese a ser desechado algunos pueden volver a ser usados como materia prima y otros son usados como nuevos materiales, tratando de contener una de las problemáticas más nombradas en los últimos años como es la contaminación por este motivo se han implementado varias formas de interferir con esta problemática haciendo uso de recipientes de separación de residuos, la clasificación de estos residuos es muy importante ya que esto permite que se identifiquen de manera inmediata cuales son los materiales que pueden ser reutilizados y lograr un mejor manejo de estos.

Gracias a este método se ha disminuido de manera exponencial la cantidad de residuos que se desechan, pero no ha sido el método más eficaz ya que no se toma en cuenta el fallo humano de no darle el uso adecuado a los contenedores, en este caso se centra en que las personas hacen caso omiso a la clasificación de estos residuos, aunque se tengan varias forma de determinar donde depositar los diferentes residuos y al no llevar a cabo esta tarea se contribuye de manera directa con la designación que tienen estas implementaciones logrando que la disminución sea mínima.

Para esto se hace la implementación de un prototipo que logre que el fallo humano sea el mínimo haciendo uso de las herramientas de la inteligencia artificial y algunas librerías de Arduino logrando que llevar a cabo esta tarea sea más concisa y fácil de llevar a cabo.

ABSTRACT

Recycling has been one of the methods addressed over time due to the vast amount of waste being discarded worldwide. It allows for giving new life to materials that would otherwise be disposed of. Some can be reused as raw materials, while others are used in creating new materials. This approach aims to tackle one of the most frequently mentioned issues in recent years: pollution. To address this concern, various methods have been implemented, including the use of waste separation containers. The classification of these waste materials is crucial, as it allows for the immediate identification of materials that can be reused and facilitates better management of them.

Thanks to this method, the amount of waste being discarded has decreased exponentially. However, it hasn't proven to be the most effective method, as it doesn't account for the human factor of not properly using the containers. In this case, the focus is on people disregarding the proper sorting of waste, despite having several ways to determine where to deposit different types of waste. Failing to carry out this task directly contributes to the limited success of these implementations.

To address this issue, a prototype is being developed to minimize human error by leveraging artificial intelligence tools and some Arduino libraries. This approach aims to make waste sorting more precise and easier to execute.

TABLA DE CONTENIDO

1. Capitulo 1. 9
   1.1 Introduccion....9
   1.2 Problema....12
   1.3 Justificacion....13
   1.4 Objetivos. 14
      1.4.1 Objetivo General....14
      1.4.2 Objetivos Especificos. 14
2. Capitulo 2 16
   2.1 Requisitos Para Llevar A Cabo Un Buen Reciclaje. 16
   2.2 Antecedentes. 18
   2.3 Marco Legal. 26
   2.4 Concepto General De Protocolos De Comunicación 26
   2.5 Protocolos De Comunicación Iot 30
3. Capitulo 3. 34
   3.1 Diseño E Implementacion Del Sistema....34
   3.2 Diseño Conceptual....34
   3.3 Requisitos Funcionales 34
   3.4 Diseño De La Arquitectura De Vision E Iot Del Dispostivo....35
   3.5 Identificacion De Los Componentes Hardware 38
   3.6 Identificacion De Los Componenetes Sofware 46
   3.7 Diseño Detallado. 54
   3.8 Diagrama De Conexión 55
   3.9 Implantacion Del Sistema....57
   3.10 Recepcion De Variables Visuales. 57
   3.11 Recepcion De Señales Del Protocolo De Comunicación 70
4. Capitulo 4 79
   4.1 Verificacion Del Sistema....79
   4.2 Sensor Hc-Sr04 Con Envio De Notificacion....79
   4.3 Modulo De Vision Artificial Y Deteccion De Objetos 81
5. Capitulo 5 87
   5.1 Conclusiones 87
6. Anexos.... **¡Error! Marcador no definido.**
7. Referencias .... **¡Error! Marcador no definido.**

INDICE FIGURAS

Figura 1. Colores de los contenedores para reciclaje 17
Figura 2. Modelo OSI por capas 30
Figura 3. Arquitectura por capas 33
Figura 4. Arquitectura general con respecto al funcionamiento del sistema de visión artificial. 36
Figura 5. Arquitectura general del funcionamiento del sistema 37
Figura 6. Cámara USB genérica 38
Figura 7. Características del sensor ultrasónico HC-SR04 39
Figura 8. Modulo ESP32-DEVKIT-V1 41
Figura 9. ESP32 Especificaciones Técnicas 43
Figura 10. Raspberry pi 4 especificaciones técnicas 43
Figura 11. Pantalla LCD para la visualización de datos 45
Figura 12. ULTRALITYCS YOLOV5 PYTORCH 49
Figura 13. ARQUITECTURA DE CONSTRUCCION 50
Figura 14. Recepción de variables físicas 51
Figura 15. Envió de notificación con SMTP 52
Figura 16. Conexión raspberry con esp32 52
Figura 17. Conexión Total 53
Figura 18. Diagrama de flujo 54
Figura 19. Conexión ESP32 con Sensor Ultrasonico 55
Figura 20. Conexión Raspberry pi 4 con pantalla LCD 56
Figura 21. Implementación del sistema Hardware 57
Figura 22. Rasberry pi OS (64 BITS) 59
Figura 23. Requerimientos Necesarios 59
Figura 24- Presentación de la Extensión “Download All Images ” 60
Figura 25 Contenido carpeta Data 61
Figura 26 Creación de etiquetas en Make Sense 62
Figura 27 Compresión de carpeta Data 62
Figura 28. Creación carpeta “Yolov5” en el Dataset 63
Figura 29. Identificación del archivo coco128.Yaml 63
Figura 30. Entrenamiento por épocas y modelo 64
Figura 31. Entrenamiento del DataSet con “YoloV5” 64
Figura 32. Instalación de requerimientos necesarios para el funcionamiento 65
Figura 33. Importación del archivo best.pt 65

Figura 35. Ejecutable de Python.....66
Figura 34. Modificación del archivo “Custom.yaml”.....66
Figura 36. Creación del ejecutable con Python 67
Figura 37. Conexión del hardware (solo con visión artificial).....68
Figura 38. Resultado de la prueba 69
Figura 39. Instalación librería en ARDUINO IDE 71
Figura 40. Instalación segunda librería en ARDUINO IDE 72
Figura 41. Código en Arduino IDE 73
Figura 42. Segunda parte codigo ARDUINO IDE 74
Figura 43. Tercera parte Codigo Arduino IDE 75
Figura 44. Datos a ingresar con ARDUINO IDE 76
Figura 45. Protocolo de notificaion creado.....77
Figura 46. Montaje hardware (envio de notificacion).....78
Figura 47. Verificación del envió (parte hardware) 79
Figura 48. Verificación del envío (parte software) 80
Figura 49. Verificacion en el movil.....80
Figura 50. Prueba en pantalla LCD 81
Figura 51. Verificación de la detección.....82
Figura 52. Implementación hardware del sensor ultrasónico.....83
Figura 53. Montaje Hardware para pruebas.....84
Figura 54. Primera prueba (identificación deposito blanco) 85
Figura 55. Prueba con el sensor ultrasónico 86

INDICE TABLAS

Tabla 1. Requisitos Funcionales.....35

Tabla 2. Especificaciones tecnicas – camara usb generica.....39

Tabla 3. Especificaciones tecnicas – hc-sr04 40

Tabla 4. Esp32 Especificaciones técnicas 42

Tabla 5. Especificaciones técnicas – raspberry pi 4 45

Tabla 6. Especificaciones técnicas de pantalla lcd 46

Tabla 7. Lista de componentes software 58

Tabla 8. Lista de componentes hardware 70

INDICE ANEXOS

Anexo 1: Recolección y organización de imágenes..... **¡Error! Marcador no definido.**

Anexo 2: Presentación de Make Sense..... **¡Error! Marcador no definido.**

1. CAPITULO 1.

1.1 INTRODUCCION.

En la actualidad, se puede denotar la contaminación como una problemática que nos afecta directa e indirectamente. Como consecuencia, se han implementado diferentes formas para disminuirla; una de ellas es el reciclaje, la cual consiste en tomar residuos que normalmente se desecharían y reutilizarlos o usarlos para la creación de nuevos materiales, así se reducirá el uso de nuevas materias primas y energía, reduciendo la contaminación en general por la quema de residuos, disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero. Para la selección de residuos en casas y urbanizaciones, se usan los contenedores de colores blanco (plástico), verde (papel y cartón) y negro (otros). Es el proceso mediante el cual el usuario transforma el lugar que habita para adaptarlo a sus necesidades. Como ocurre en la autoconstrucción, el usuario interviene en la transformación de su propia vivienda, pudiendo suceder de una forma más o menos individual y espontánea, como en la ciudad informal, o bien de forma colectiva y programada. (Ramos, 2014)

El contexto socioeconómico y cultural heredado a principios del siglo XXI ha venido favoreciendo la expansión territorial frente a la regeneración de la ciudad construida. Por tanto, la industria de la construcción ha estado orientando principalmente hacia el desarrollo de técnicas y materiales aplicables a la construcción de edificios de nueva planta o la restauración y rehabilitación de edificios singulares, para su mantenimiento como patrimonio cultural. (Ramos, 2014)

En paralelo a este desarrollo, el mercado ha respondido a la necesidad de auto-reciclaje de los usuarios con productos de fácil instalación, adquiribles en los centros comerciales especializados en bricolaje o mobiliario auto-montable. Otra manifestación de esta necesidad es el desarrollo de la cultura del reciclaje de objetos, el ready-made, mediante el cual el usuario asimila un producto

obsoleto introduciéndole un nuevo valor mediante su reparación, transformación o cambio de uso. (Ramos, 2014)

La función principal del reciclaje es la obtención de materiales que van a ser desechados y darles una segunda vida, ya sea implicado con la creación de nuevos productos o la reutilización de estos mismos, contribuyendo de manera directa a la disminución en la industrialización. Así como se pueden hacer aportes a pequeña escala, como podría ser la separación de residuos en un hogar, existen aportes a mediana escala, como puede ser la separación de desechos en una universidad; podemos agregar herramientas tecnológicas al proyecto, mejorando de manera sustancial el propósito; a esto se le llama reciclaje automático.

El reciclaje automatizado es un medio para agilizar de manera exponencial el acto de la clasificación de los residuos. Esta implementación ha sido usada en grandes empresas dedicadas a la transformación de los materiales reciclables, pero a rasgos de uso cotidiano, el empleo no ha implementado de manera contundente. Para eso, la creación de un producto que podría mejorar desde recintos que no hacen uso de este mecanismo a gran escala, como podría ser una universidad, contribuye de manera contundente a la contaminación. De manera que la creación de un prototipo que mejore la calidad de la gestión de los residuos es muy útil y generaría una solución a pequeña escala.

A nivel del país en general, Colombia ha contribuido de manera sutil ante una problemática a gran escala como es la contaminación. Esto se ve reflejado en la cotidianidad con la cual se generan desperdicios, de manera que en algunos lugares se llega a desbordar los rellenos sanitarios y, además de contribuir con la contaminación, se produce una problemática a gran escala, como son los olores fuertes en pequeñas localizaciones que se ubican cerca de estos.

En el Cauca podemos observar cómo se genera una gran cantidad de residuos no reciclables, y esto se debe a que no hay una implementación para la disminución de la contaminación, ya que haciéndolo en lugares más pequeños no se ha visto reflejado un gran cambio, gracias a que las personas no están poniendo un pequeño aporte, como lo es el poner en cada lugar los residuos.

Tomando en cuenta los contenedores que se utilizan en la universidad, podemos afirmar que la automatización para el reciclaje es una forma de contribuir de manera positiva en el destino que se le asignará a los diferentes residuos desechados. En la actualidad, se puede denotar la contaminación como una problemática que nos afecta directa e indirectamente. Como consecuencia, se han implementado diferentes formas para disminuirla; una de ellas es el reciclaje, la cual consiste en tomar residuos que normalmente se desecharían y reutilizarlos o usarlos para la creación de nuevos materiales; así se reducirá el uso de nuevas materias primas y energía, reduciendo la contaminación en general por la quema de residuos, disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero. Para la selección de residuos en casas y urbanizaciones se usan los contenedores de colores blanco (plástico), verde (papel y cartón) y negro (otros).

Es el proceso mediante el cual el usuario transforma el lugar que habita para adaptarlo a sus necesidades. Como ocurre en la autoconstrucción, el usuario interviene en la transformación de su propia vivienda, pudiendo suceder de una forma más o menos individual y espontánea, como en la ciudad informal, o bien de forma colectiva y programada. (Ramos, 2014)

El contexto socioeconómico y cultural heredado a principios del siglo XXI ha venido favoreciendo la expansión territorial frente a la regeneración de la ciudad construida. Por tanto, la industria de la construcción ha estado orientando principalmente hacia el desarrollo de técnicas y materiales aplicables a la construcción de edificios de nueva planta, o la restauración y

rehabilitación de edificios singulares para su mantenimiento como patrimonio cultural. (Ramos, 2014)

1.2 PROBLEMA.

A nivel mundial, podemos observar que en algunos países existe un gran apoyo en la parte social para fomentar un reciclaje óptimo. Sin embargo, esto solo se lleva a cabo en aproximadamente el 5% de los países. Es evidente que no existe un amplio respaldo en la parte tecnológica, a pesar de que en el mundo se generan alrededor de 11,200,000,000 toneladas de residuos, de las cuales un 40% son reciclables. Lamentablemente, solo se recicla un total del 17%, lo que contribuye de manera negativa, ya que no se aprovecha ni la mitad de los residuos y se amplía el margen de creación de estos desechos, lo que resulta en una mayor contaminación en el mundo. (Colombia, 2019)

Se puede observar que en Colombia se generan aproximadamente 11.6 millones de toneladas de desechos, de las cuales solo se recicla un 17%. Sin embargo, el total de estos desechos que podrían ser reciclados asciende al 40%, lo que representa un déficit del 23% de materiales que no se aprovechan de manera adecuada. (gobernación, 2015)

En el Cauca, se presenta una problemática centrada en los rellenos sanitarios, que se ha evidenciado con manifestaciones en las vías, lo que impide que los vehículos encargados de la recolección de residuos puedan llevar a cabo su tarea de depositarlos. Esto se debe a que los rellenos sanitarios están desbordándose, generando un impacto negativo que afecta directamente a las urbanizaciones cercanas, causando malos olores y dificultando la convivencia en las proximidades de estos lugares.

Es importante destacar que el mal uso de los puntos ecológicos se deriva de la mala gestión que las personas les dan a los contenedores. No se tiene en cuenta que los colores y las simbologías implementados en la Institución Universitaria Colegio Mayor Del Cauca o puntos ecológicos tienen una razón de ser, que es la clasificación de residuos por su tipo para un tratamiento adecuado. Como consecuencia de no llevar a cabo la separación de los residuos, se crea una problemática en la que no se reciclan los materiales, sino que se generan desechos que no serán reutilizados o se les dará un nuevo uso. Por ello, se está desarrollando un prototipo que automatiza el reciclaje como solución a la mala gestión de los residuos.

Teniendo en cuenta toda la información anterior, se observa que la implementación de un sistema para la automatización del reciclaje es necesaria. El uso inadecuado de los puntos ecológicos tiende a generar más desechos que no pueden ser reciclados. Mediante el uso de nuevas tecnologías, se podrá llevar a cabo este proyecto, que podría darles un nuevo uso a los materiales, fomentando la preservación de los diferentes materiales y contribuyendo de manera directa a la problemática de la contaminación.

1.3 JUSTIFICACION.

Desde el año 2017, se han estado implementando planes de contingencia en la parte ambiental. Uno de estos planes se enfoca en el reciclaje, que a lo largo de los años ha ganado mayor relevancia, y se han introducido nuevos métodos para el tratamiento de los desechos de la universidad. Uno de los hitos más significativos ocurrió en el año 2019 con la implementación del "Plan de Manejo Ambiental", que marcó una de las iniciativas más importantes. Este plan logró un 10% de reutilización de los materiales desechados por la universidad, en asociación con el Día Mundial del Reciclaje, lo que representó una disminución muy notable en comparación con años anteriores.(Webmaster 2017)

Asimismo, se logró la creación de la **Asociación de Reciclaje AREMARPO**, en la cual se llevó a cabo un intercambio de conocimientos entre todos los participantes de la Universidad Colegio Mayor Del Cauca, incluyendo a estudiantes, profesores, administrativos, directivos y el público en general. Durante esta charla, se establecieron los criterios que explicaban por qué era necesaria la implementación de nuevos métodos para lograr un mejor aprovechamiento de los residuos, tanto en la universidad como en el hogar.(Webmaster 2017)

En el año 2017, se llevó a cabo la implementación de puntos ecológicos en la Institución Colegio Mayor Del Cauca, considerando que es uno de los mecanismos más utilizados en todo el mundo para fomentar una adecuada gestión de residuos y su distribución apropiada. Podemos afirmar que esto representó uno de los avances más significativos en el ámbito del reciclaje.

Sin embargo, a lo largo de los últimos 8 años, se ha observado que el uso de estos puntos no ha sido el más adecuado. Cada año, se suman más personas, pero no se realizan actividades para proporcionar a los nuevos integrantes conocimientos sobre cómo utilizar estos puntos ecológicos. Se ha llegado a la conclusión de que la mejor solución es la creación de un sistema que facilite la separación automática de los residuos.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 OBJETIVO GENERAL.

- Desarrollar un sistema IoT manejando herramienta SBC para un contenedor automatizado de reciclaje en la sede bicentenario de la IUCMC.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Identificar una arquitectura IoT con herramienta SBC para el contenedor automatizado de reciclaje en la sede bicentenario de la IUCMC.

- Diseñar el sistema IoT con herramienta SBC para un contenedor automatizado de reciclaje en la sede bicentenario de la IUCMC.
- Evaluar el funcionamiento del sistema IoT con herramienta SBC para un contenedor automatizado de reciclaje en la sede bicentenario de la IUCMC.

2. CAPITULO 2

2.1 REQUISITOS PARA LLEVAR A CABO UN BUEN RECICLAJE.

El objetivo principal para las personas involucradas en el reciclaje es reducir la cantidad de residuos creados cada año, contribuyendo de manera directa a la disminución de la contaminación de manera positiva. A lo largo del tiempo, se han implementado diversas formas de fomentar el reciclaje, desde jornadas de pedagogía hasta campañas de concientización, pero no se ha logrado una reducción significativa mediante estos métodos.

Este proyecto se centró en una forma de reciclaje, como son los contenedores de materiales para fines de reciclaje. Aunque este método es práctico y visual, la mayoría de las personas hacen caso omiso de estos contenedores y desechan sus residuos en cualquier lugar, sin tener en cuenta la simbología. Esto ha llevado a la implementación de cambios en los contenedores a lo largo de los últimos años para mejorar su eficacia. Por ejemplo, en 2015 se disponía de 6 contenedores, pero gracias a los cambios realizados en 2019 y confirmados en 2021, ahora se utilizan 3 contenedores, como se muestra en la figura 1. Esta modificación influyó de manera positiva en el uso de los contenedores.

Por lo tanto, es fundamental comprender el funcionamiento claro de este sistema para promover el desarrollo del reciclaje de manera efectiva.

- **Contenedor gris.**

Este contenedor se usa para desechar los materiales en general que no tienen una disposición de reusarse, esto con el fin de no introducir estos materiales en los otros contenedores.

- **Contenedor naranja.**

En este contenedor se implementan los residuos orgánicos.

- **Contenedor verde.**

En este se introducen los materiales que son de vidrio.

- **Contenedor amarillo.**

En este si implementan los residuos que son de plástico y envases metálicos.

- **Contenedor azul.**

Todo tipo de material que sea de papel o cartón.

- **Contenedor rojo.**

Materiales potencialmente peligrosos.

Figura 1. Colores de los contenedores para reciclaje

FUENTE ADAPTADA DE (MINAMBIENTE, 2019).

Para este proyecto se tomará en cuenta los contenedores principales usados en la (IUCMC) que son blanco, verde y negro. (Minambiente, 2021).

2.2 ANTECEDENTES.

A continuación, se presentan una serie de trabajos relacionados con la temática abordada en este trabajo. De alguna manera, los siguientes trabajos muestran similitudes con el sistema de automatización de residuos, ya sea en su parte funcional o en su parte esquemática, con el propósito de recopilar información o comprender su funcionalidad.

2.2.1 IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATIC WASTE SEGREGATOR SYSTEM USING ARDUINO UNO

Este proyecto se implementó en la India teniendo en cuenta el continuo crecimiento de la urbanización y la industrialización, lo que ha resultado en un rápido aumento en la cantidad de residuos generados a diario. En vertederos de todo el mundo, se acumulan grandes cantidades de residuos cada día. Si adoptamos un procedimiento adecuado de segregación de los residuos generados, es posible utilizar y reciclarlos de manera eficaz. En este trabajo, se desarrolló un sistema de segregación de residuos automatizado y rentable para su uso a nivel doméstico. El sistema propuesto separa los residuos en tres categorías: metálicos, húmedos y secos, y además separa los residuos secos en papel y plástico. Para lograrlo, se utiliza una placa Arduino Uno como controlador principal y varios sensores para detectar cada tipo de residuo, que se separa y se deposita en los contenedores correspondientes. Mediante este sistema de segregación de residuos, los residuos separados pueden ser enviados directamente para su reciclaje.(Sunehra et al. 2021)

El reciclador automático en este caso se enfoca en el tratamiento de tres tipos de residuos: papel, plástico y metálico. Esto se lleva a cabo para identificar su estado, ya sea húmedo o seco. A través de esta clasificación, es posible determinar si el residuo en cuestión es adecuado para el reciclaje. Para lograr esto, se emplean tecnologías Arduino y diversos sensores que facilitan la detección de los residuos.

2.2.2 AUTOMATIC METAL WASTE SEPARATOR SYSTEM IN MALAYSIA

Este proyecto se implementó en Malasia con un enfoque en el reciclaje de metales, un tema que requiere atención y debe ser practicado por las personas debido a sus múltiples ventajas tanto para los seres humanos como para el medio ambiente. Para obtener metales de la Tierra, es necesario realizar el proceso de minería, el cual puede dañar nuestros recursos naturales debido al agotamiento de las zonas de extracción. Si este proceso no se controla, la mayoría de las áreas de la Tierra podrían terminar con enormes agujeros de excavación. Por lo tanto, es responsabilidad de las personas evitar que esto suceda y preservar la calidad del medio ambiente mediante el reciclaje de materiales metálicos.

El reciclaje de metales no solo contribuye al ahorro de energía y recursos, sino que también reduce la demanda de materias primas, lo que garantiza la conservación de los recursos naturales para las generaciones futuras. El sistema automático de separación de residuos metálicos propuesto tiene como objetivo facilitar la separación de los materiales de desecho y simplificar el trabajo de la industria metalúrgica, ya que los residuos metálicos se recogen y aíslan automáticamente en la recolección de basura.

El objetivo principal del proyecto es diseñar un sistema que pueda separar automáticamente los residuos domésticos reciclables de metal y registrar los datos de los residuos recogidos. Se utilizan un total de cuatro detectores para distinguir entre los residuos metálicos y no metálicos, así como para clasificar entre acero, cobre y aluminio. El tiempo promedio utilizado para el proceso de separación de metales con el prototipo propuesto es de 14.5 segundos. El proyecto comprende aspectos mecánicos, programación y diseño electrónico, y se programará utilizando un Arduino

Mega como microcontrolador para controlar todos los componentes electrónicos del sistema. (Sazali Mahat, 2018)

Este proyecto pretende automatizar el reciclaje del metal ya que tiene consecuencias muy graves gracias a la forma en que son extraídos los metales haciendo uso de sensores para registrar los diferentes estados del metal y darles un buen destino a los residuos metálicos de los hogares.

2.2.3 DEVELOPMENT OF AUTOMATIC WASTE SEGREGATOR WITH MONITORING SYSTEM

Este proyecto fue implementado en Malasia para segregar y monitorizar la automatización de residuos es un cubo de basura automatizado que puede ser utilizado por todos los niveles de la sociedad. Este artículo propone un sistema automático de separación y control de residuos que está diseñado para clasificar los residuos húmedos, papel, plástico y aluminio en cada contenedor respectivamente. El objetivo principal de este proyecto es separar automáticamente los residuos en función de su material y controlar las tasas diarias de eliminación de residuos y aplicar un adecuado mantenimiento del cubo de basura. Además, este proyecto pretende promover el concepto 3R (reutilización, reciclaje, reducción) entre los ciudadanos y desarrollar un prototipo que permita a los conserjes controlar el nivel de basura en el cubo de basura detectado por sensores dentro del cubo de basura. Cuando el cubo alcanza el umbral límite, los conserjes recibe una notificación por SMS mediante el módulo GSM Icomsat 1.1 SIM900. Este proyecto ha sido probado en la Facultad de Ingeniería UiTM Shah Alam. Este cubo de basura se abrirá automáticamente cuando alguien se acerque al cubo y no se abrirá si la basura en su interior ha alcanzado el límite del umbral para evitar el desbordamiento y el desorden. Cualquiera que arroje la basura en el cubo recibirá un "gracias" en la pantalla LCD como muestra de agradecimiento. En este trabajo, este proyecto se

construye utilizando Microcontrolador basado en la plataforma Arduino Mega 2560 bordo que se interconecta con ESP8266 12E LoLin NodeMCU V3 sensor de proximidad inductivo, módulo láser, resistencia LDR, módulo de sensor de líquidos y sensor ultrasónico. (Kamarudin et al. 2019)

Este sistema implementa mediante una ESP8266 12E y una pantalla LCD, un gestionamiento de los residuos ingresados para la separación de estos mismos, haciendo uso de sensores para clasificar los residuos, además enseñar al usuario un mensaje de agradecimiento por hacer uso del sistema y ayudar a las personas que se encargan del aseo "conserje" haciendo uso de un mensaje de texto y decirles que el contenedor está lleno.

2.2.4 DESIGN AND DEVELOPMENT OF SEMIAUTOMATIC ELECTRICAL INCINERATOR USING ARDUINO

El proyecto diseñado en india para la incineración es la forma clave de tratamiento de la conversión de residuos en energía. El incinerador existente desarrollado es su simple diseño; no constaba de un cubo de basura para almacenar los residuos, los residuos pasaban directamente por la cámara de calentamiento sin tecnología de control, es decir, el interruptor de la cámara se controla manualmente. Esta desventaja queda cubierta por nuestro sistema, ya que el interruptor se controla automáticamente con el uso de un controlador. Arduino se utiliza para controlar el barrido de la válvula. La programación se realiza con varias condiciones para cumplir con el requisito del trabajo propuesto. El sistema es ambiental, ya que tiene una chimenea con un filtro instalado en ella. Con el uso de este sistema es más fácil eliminar los residuos, además es portátil ya que es un incinerador con ruedas. Este dispositivo que el horno y la válvula se operan automáticamente basado en el programa Arduino. El sistema es fiable y eficiente ya que es basado en una rueda parecida a la de un vehículo. Lo más atractivo es que tiene incorporado un inteligente incorporado.

Alrededor del 65-80% del contenido energético de las sustancias orgánicas puede utilizarse para producir electricidad. (Ashya Chettri, 2019)

2.2.5 DETECTOR DE MATERIALES PARA RECICLAJE AUTOMÁTICO

En este trabajo de fin de grado se tratará la problemática del reciclaje, cada vez más necesario debido, entre otros motivos, a la gran cantidad de envases que se utilizan o a la preocupación por conservar el medio ambiente. El objetivo en "el mundo del reciclaje", es conseguir el llamado vertido cero, es decir, que todos los residuos reciclables sean correctamente reciclados. Numerosas asociaciones y países, alrededor de todo el mundo, están investigando y lanzando proyectos que mejoren las tasas de reciclaje para, por lo menos, acercarse al vertido cero. En el comienzo del trabajo se describirá el estado del reciclaje en España, así como los procesos que se siguen actualmente. La mayor parte de los proyectos que se realizan se quedan fuera de los hogares de los ciudadanos, que, al fin y al cabo, somos los que decidimos si reciclar o no hacerlo. Con el fin de contribuir a conseguir aumentar las tasas de reciclaje, se me ocurrió la idea de facilitarlo aún más diseñando el dispositivo que se expondrá a continuación. El objetivo del dispositivo será separar automáticamente los desechos domésticos destinados a reciclaje. Diferenciará entre los desechos destinados a los contenedores de vidrio, papel o cartón, y envases de plástico. Para ello, se utilizarán sensores capacitivos, un sensor inductivo y el microcontrolador Arduino.(Sopelana Zuazo 2018)

Tomando en cuenta que este proyecto está enfocado en la automatización del reciclaje por medio de sensores y una placa Arduino, es muy parecido a los anteriores presentados con anterioridad, pero con la falla que no recicla los residuos orgánicos.

2.2.6 RECYGLASS, A LOW-COST SYSTEM FOR RECYCLING GLASS BOTTLES IN A DISTINCTIVE WAY

Los procesos tradicionales de reciclaje de vidrio presentan dificultades a la hora de segregar cuidadosamente el material de vidrio por tipo y color. Teniendo esto en cuenta, han surgido nuevas alternativas de reciclaje que evitan esta etapa en todo el proceso. Sin embargo, siguen siendo peligrosas para los operarios o los nuevos usuarios. Para superar ambos problemas, este trabajo presenta en detalle el diseño e implementación mecánica, electrónica y de control de RecyGlass, una máquina de reciclaje de vidrio autónoma de bajo coste con 6 subsistemas diferentes: sujeción, rotación, traslación, corte, pulido y serigrafía. Se utilizan imágenes reales y de modelos 3D para presentar mejor el diseño y el resultado del proyecto RecyGlass en sus diferentes niveles de diseño. Finalmente, este trabajo también analiza, en el apartado de conclusiones, el consumo energético de nuestra alternativa en comparación con los procesos tradicionales de reciclado de vidrio.(Montoya et al. 2020)

La detención de ciertos materiales mediante algunos sensores puede llegar a ser un poco tedioso, como es el caso del vidrio es un material que por su traslucidez se dificulta como establecer su estado y confundirse con otros materiales en este proyecto, ante todo se formula como solventar esta problemática.

2.2.7 RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF TEACHING MATERIALS FOR LEARNING IOT IMPLEMENTATION

A partir de los antecedentes en los que se han dispuesto las técnicas educativas disponibles relacionadas con las TIC con la programación informática, se realiza experimentalmente un ejemplo de implementación de IoT como material didáctico. La aplicación web es IoT realizando la monitorización y el control remoto como el funcionamiento del interruptor de la fuente de alimentación comercial y los parámetros de la línea en vivo para ver la tensión, la corriente, el

consumo de energía. El software de protocolo http consistente en el front-end de la web y el back-end se basa en JavaScript con Node.js y Socket.io con el fin de permitir a los estudiantes a entender un principio fácilmente de la comunicación bidireccional. El sistema de hardware y software se puede configurar con piezas de la máquina simples y fáciles para que los estudiantes aprendan la implementación de IoT.(Oyama 2021)

El presente artículo escrito por Oyama, permite la conexión de manera remota usando maquinaria IoT la cual está enfocada en las conexiones inalámbricas, para mejorar sustancialmente las vidas de las personas haciendo más fácil algunas funciones como podrían ser revisiones, escaneos, entre otros lo más primordial de este proyecto es la funcionalidad de IoT que se implementara en el proyecto vigente para enviar un mensaje a la persona encargada de la manutención de los residuos.

2.2.8 CURRICULUM DEVELOPMENT FOR ROBOTICS EDUCATION USING MICROCONTROLLER BOARD ARDUINO (OS5-2 TECHNOLOGY AND ENGINEERING EDUCATION II, OS5 TECHNOLOGY AND ENGINEERING EDUCATION)

La Escuela Secundaria de Ciencia y Tecnología de Tokio ha estado desarrollando el plan de estudios de la enseñanza de los robots. En una lección de segundo grado se estudia la "Práctica de control electrónico" utilizando un microordenador de placa única "Arduino". Este microordenador de placa única puede tratar una entrada/salida digital y una entrada/salida analógica fácilmente, y puede estudiar el control del motor y la pantalla de cristal líquido. "Arduino" también se utiliza en la investigación de robots en una lección de tercer grado "Estudio de proyectos", como el control remoto del brazo del robot mediante el uso de un sistema maestro esclavo y el desarrollo de un

robot de transformación que puede funcionar con tres ruedas y caminar sobre dos piernas. Este artículo describe estas prácticas educativas utilizando "Arduino".(Kazuo 2012, 5)

En primer lugar, tomando en cuenta que la enseñanza a robots está enfocada en el machine-learning e inteligencia artificial, dependiendo de la funcionalidad que se quiera dar a un dispositivo se podrá asumir que, la enseñanza para implementación de inteligencia artificial esta la mano de personas con conocimientos sobre este tema, y su contribución puede ser significativa en este proyecto.

2.2.9 RAPID PROTOTYPING OF SYSTEM CONTROL EXPERIMENTS USING ARDUINO / PROCESSING

Processing es un lenguaje de programación de código abierto y un entorno de desarrollo integrado basado en Java, y Arduino es una microcomputadora de hardware abierto con un entorno de desarrollo en común. Todos ellos tienen muchas ventajas, como el fácil aprendizaje, la independencia de la plataforma y el bajo costo, y son adecuados no solo para aplicaciones de aprendizaje para principiantes, sino también para el desarrollo rápido de prototipos para investigadores. En esta charla informativa descrita por Takuto y Osuda, informaremos sobre la utilización de Processing y Arduino para la simulación numérica y los experimentos con máquinas reales, que son importantes en la investigación y educación de la ingeniería de control de sistemas, con ejemplos reales.(*Masato, Takuto, y Koichi Osuda 2010)

Lo más importante a destacar es el marco de trabajo “processing”, el cual permite de manera sistemática trabajar en microcomputadoras las cuales ejercen trabajos para el desarrollo de bajo costo y la construcción de prototipos de manera consistente, aumentado la productividad y ejerciendo buenas costumbres de programación.

2.3 MARCO LEGAL.

Según el Decreto 1076, establecido en el año 2015 en el sector ambiental y desarrollo sostenible, con su última modificación en el año 2023, se observa cómo se intenta orientar y regular de manera que se promueva la sostenibilidad y el aprovechamiento adecuado de los diferentes residuos. Esto busca mejorar significativamente la categorización y contribución hacia el medio ambiente, haciendo uso de las nuevas tecnologías.

En "el derecho a un ambiente sano", se establece que todas las personas tienen derecho a un ambiente saludable, y también se promueve la educación para fomentar prácticas como el reciclaje. A pesar de estos avances, los resultados no han sido satisfactorios, lo que sugiere que la automatización podría ser una garantía para mejorar la eficacia de estas prácticas y garantizar la salubridad del entorno. (NORMATIVIDAD AMBIENTAL 2017)

La Resolución Nacional 754 de 2014 exige a todos los municipios del país la formulación de planes de gestión integral de residuos sólidos como una medida para mejorar la situación ambiental. En su artículo 10, se considera esta exigencia como un estímulo para la promoción de nuevos proyectos que ofrezcan soluciones a corto y largo plazo. Esto respalda la viabilidad de la propuesta de este prototipo, ya que contribuye tanto a pequeña como a gran escala. Además, el artículo 8 establece la "articulación de los PGIRS con los planes o esquemas de ordenamiento nacional", lo que proporciona una metodología para la gestión integral de los residuos sólidos y sirve como criterio de incentivo para la creación del prototipo. De esta manera, se adapta y se aplica de manera sistemática en este sector.(resolucion-754-de-2014.pdf , 2015)

2.4 CONCEPTO GENERAL DE PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

"Los protocolos de comunicación son reglas que permiten que dos o más dispositivos o sistemas se comuniquen entre sí. Los protocolos de red son estándares y políticas formales que consisten en

restricciones, procedimientos y formatos definidos para el intercambio de paquetes de información, lo que facilita la comunicación entre servidores o dispositivos en una red.

El Modelo de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI, por sus siglas en inglés) es un modelo conceptual creado por la Organización Internacional de Normalización (ISO) que posibilita la comunicación entre sistemas de comunicación diferentes mediante el uso de protocolos estándar. En resumen, el modelo OSI proporciona un estándar universal para la comunicación entre sistemas informáticos en redes. Este modelo se puede entender como un lenguaje universal de comunicación entre sistemas de redes informáticas, dividido en siete capas abstractas apiladas verticalmente. A continuación, se explicarán brevemente las siete capas para comprender mejor este modelo. Esto a partir de (¿Qué es el modelo OSI?, s. f.) y (Tanenbaum, A. S. 1981).

2.4.1 CAPA FÍSICA

Define las características físicas y eléctricas de la red. Esta capa incluye los dispositivos físicos que participan en la transferencia de datos, como los cables. Se trata también de la capa en la que los datos se convierten en una secuencia de bits, que se representan a través de una serie de 1 y 0. También se encarga de otros detalles eléctricos, mecánicos y de procedimiento.

2.4.2 CAPA DE ENLACE DE DATOS

Define la estrategia de acceso para compartir el medio físico, incluidos los problemas de enlace de datos y acceso a los medios. Esta capa es muy similar a la capa de red, salvo que lo que hace es facilitar la transferencia de datos entre dos dispositivos ubicados en una misma red. La técnica para hacerlo es dividir el flujo de bits sin procesar en cuadros, cada uno de los cuales contiene una suma de verificación para detectar errores. (Una suma de verificación es un número entero corto que

depende de todos los bits en la trama, por lo que un error de transmisión probablemente la cambiará y, por lo tanto, será detectable).

2.4.3 CAPA DE RED

Proporciona un medio para comunicar sistemas abiertos para establecer, mantener y terminar conexiones de red. La capa de red es la responsable de posibilitar las transferencias de datos entre dos redes diferentes. Si los dos dispositivos que se comunican están en la misma red, entonces no hará falta esta capa de red. Esta capa también busca el mejor camino físico para que los datos lleguen a su destino, esto se conoce como enrutar.

2.4.4 CAPA DE TRANSPORTE

La capa de transporte proporciona una comunicación confiable de host a host para que la use la capa de sesión, es decir, es la responsable de las comunicaciones lógicas de aplicaciones que se ejecutan en diferentes equipos. Este intercambio debe realizarse libre de errores, en consecuencia, sin pérdidas ni duplicados y cumpliendo los requisitos establecidos.

2.4.5 CAPA DE SESIÓN

Es la responsable de configurar, administrar y desmantelar las conexiones de proceso a proceso, utilizando el servicio de host a host proporcionado por la capa de transporte. Es responsable de la apertura y cierre de comunicaciones entre dos dispositivos. Se le denomina sesión al tiempo que transcurre entre la apertura de la comunicación y el cierre. La capa sesión garantiza que la sesión permanezca abierta el tiempo suficiente como para transferir todos los datos que se están intercambiando; tras esto, cerrará sin demora la sesión para evitar desperdicio de recursos.

2.4.6 CAPA DE PRESENTACIÓN

La capa de presentación realiza transformaciones generalmente útiles en los datos que se enviarán, como la compresión de texto. También realiza las conversiones necesarias para permitir que un programa interactivo converse con cualquiera de un conjunto de terminales inteligentes incompatibles, es otras palabras, la capa de presentación es responsable de la traducción, el cifrado y la compresión de los datos.

2.4.7 CAPA DE APLICACIÓN

Aquí es donde encontrará los protocolos de usuario y aplicación finales. Esta es la única capa que interactúa directamente con los datos del usuario. Las aplicaciones de software, como navegadores web y clientes de correo electrónico, dependen de la capa de aplicación para iniciar comunicaciones. Sin embargo, debe quedar claro que las aplicaciones de software cliente no forman parte de la capa de aplicación; más bien, la capa de aplicación es responsable de los

protocolos y la manipulación de datos de los que depende el software para presentar datos significativos al usuario.

Figura 2. Modelo OSI por capas

FUENTE ADAPTADA DE (MAC JOSA, 2021)

El estándar del protocolo define las características de la comunicación, que pueden abarcar desde reglas de sincronización, semántica, sintaxis y formato de paquetes, entre otros aspectos. Es importante destacar que no existe un solo protocolo, sino muchos. Por ejemplo, algunos de los más conocidos en la capa de aplicación incluyen DNS, FTP, MQTT, HTTP, HTTPS, IMAP, LDAP, NTP, DHCP, SSH, Telnet, SNMP, SMTP, entre otros. En la capa de transporte, destacan protocolos tan famosos como TCP y UDP.

2.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN IOT

"Existen diferentes protocolos de comunicación diseñados específicamente para aplicarse en dispositivos IoT. Estos protocolos son normas definidas para permitir que dos o más dispositivos

IoT se comuniquen y se comprendan mutuamente. En general, estos protocolos se conocen como M2M, que significa comunicación de máquina a máquina. Dado el gran número de dispositivos IoT, estos protocolos deben cumplir requisitos más allá de las limitaciones de ancho de banda y velocidad, entre otros. Además, deben minimizar la dependencia entre dispositivos para evitar problemas cuando se retira un dispositivo. También se busca una alta interoperabilidad para que funcionen con una amplia variedad de dispositivos y sistemas, ya que el mundo del IoT es bastante diverso. Otras características importantes incluyen la facilidad de implementación y la seguridad.

Las soluciones para el IoT suelen utilizar un servidor centralizado, conocido como bróker, para recibir los mensajes de todos los dispositivos conectados y distribuirlos a todos los dispositivos IoT que están escuchando. Estos brókers utilizan metodologías de comunicación como PubSub y rRPC junto con el servicio de cola de mensajes, donde se crea una sola cola de mensajes para todos los clientes que se suscriben al bróker. También se utiliza el servicio de envío de mensajes, donde el bróker envía los mensajes al cliente destinatario conectado, filtrando por el tipo de mensaje. (Isaac, 2020).

Los protocolos de IoT M2M más conocidos son.

- **AMQP** - Protocolo avanzado de cola de mensajes
- **WAMP** - Protocolo de mensajería de aplicaciones web
- **CoAP** - Protocolo de aplicación restringida
- **TOMP** - Protocolo de transmisión de mensajes orientados a texto
- **XMPP** - Protocolo extensible de mensajería y presencia
- **WMQ** - Cola de mensajes de WebSphere
- **MQTT** - Transporte de telemetría de Message Queue Server

Antes de iniciar la fase de diseño del prototipo, es fundamental comprender cuáles son los requisitos tanto de hardware como de software. Estos requisitos determinarán qué componentes y tecnologías se utilizarán para abordar el proyecto, que se centra en la construcción de un prototipo para la detección de residuos. Para lograrlo, se debe implementar una arquitectura que facilite el diseño del prototipo, dividiéndolo en capas. Siguiendo esta línea y tomando en cuenta algunas pautas para la construcción de dispositivos IoT, se procede con la siguiente descripción.

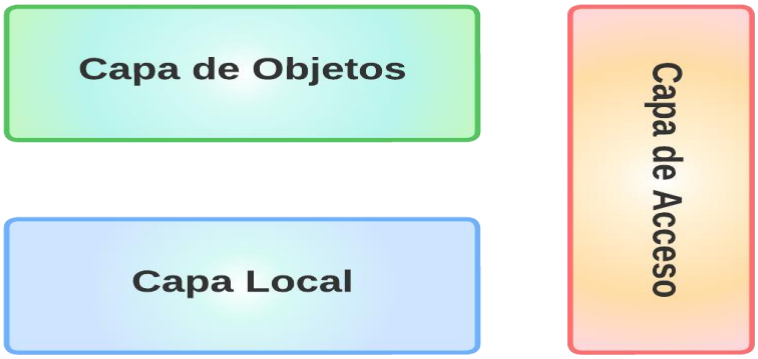
En primer lugar, es necesario contar con una capa de objetos que se encargue de recopilar los datos y convertirlos en señales comprensibles para una computadora. Esta capa gestionará todos los componentes de hardware, como sensores para la detección del nivel de llenado del contenedor y dispositivos como microcontroladores o placas de desarrollo. Estos últimos tienen la responsabilidad de controlar el funcionamiento de una o varias tareas mediante la programación de un conjunto específico de instrucciones. También es crucial que el microcontrolador tenga la capacidad de administrar los sensores a través de código Arduino y cuente con conectividad inalámbrica, sea económico y de bajo consumo energético, así como compacto en dimensiones.

Por otro lado, es esencial disponer de una capa local que se encargue de almacenar, gestionar y visualizar los datos. Esta capa requiere un microcomputador que actúe como servidor local, capaz de administrar y almacenar datos, además de contar con conectividad inalámbrica. Debe ser portátil, económico y eficiente en el consumo de energía.

Finalmente, se necesita una capa de acceso que facilite la comunicación de datos entre la capa de objetos y la capa local mediante protocolos de red. Esta capa puede transmitir datos a través de internet al servidor local. Para ello, se requiere un protocolo inalámbrico eficiente en el uso del ancho de banda, ligero y de fácil implementación.

En la figura 3, se muestra la arquitectura que respalda la construcción del prototipo del reciclador automático. Esta arquitectura es de naturaleza genérica y se ha desarrollado a partir de los requisitos de diseño, respaldada por la investigación y el trabajo realizado por:

Figura 3. Arquitectura por capas



FUENTE PROPIA (2023)

Para concluir, después de haber establecido una base conceptual sobre los principales motivos de la mala gestión de los residuos en los contenedores, haber revisado los antecedentes en la gestión de residuos previos a este proyecto, así como haber adquirido conocimientos sobre los estándares o protocolos de comunicación y algunas normativas y leyes relacionadas con el sector de reciclaje, podemos avanzar con el desarrollo del Capítulo 3, que abordará el diseño e implementación del sistema.

3. CAPITULO 3.

3.1 DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA.

Una vez terminada la investigación se contará con el conocimiento necesario para proceder con el diseño del prototipo el cual se determina con las siguientes fases descritas a continuación. Diseño conceptual donde se establecen las diferentes funcionalidades del prototipo y por último el diseño detallado donde se describe el funcionamiento y comportamiento del sistema de la mejor manera posible.

3.2 DISEÑO CONCEPTUAL

En este punto de diseño se centrará en la arquitectura IoT del prototipo teniendo en cuenta los requisitos funcionales, los cuales son la base para conocer las funcionalidades que deberá efectuar el dispositivo o prototipo, y conocer las posibles limitaciones que podría tener el sistema, ya que estos son aspectos que no pretende efectuar el prototipo o que se escape de sus posibilidades.

3.3 REQUISITOS FUNCIONALES

Numero	Requerimiento	Descripción
RF1	Conexión de enlace	Este módulo permite la conexión entre los diferentes módulos.
RF2	Lectura de datos	el módulo que nos permite detectar objetos en tiempo real.
RF3	Envió de datos	Este módulo nos permite enviar una notificación por medio de correo electrónico.
RF4	Recepción de datos	En este módulo recibe los diferentes datos del sistema (raspberry pi 4).

Numero	Requerimiento	Descripción
RF5	Almacenamiento de datos	Este módulo permite la obtención de los datos necesarios par en optimo funcionamiento del sistema (DataSet).
RF6	Visualización de datos	Este módulo dispone de una pantalla para enseñar en tiempo real el tipo de dato que se está detectando.

Tabla 1. Requisitos Funcionales

Este prototipo cuenta con ciertas limitaciones o funcionalidades que no podrá ejercer como se describe a continuación:

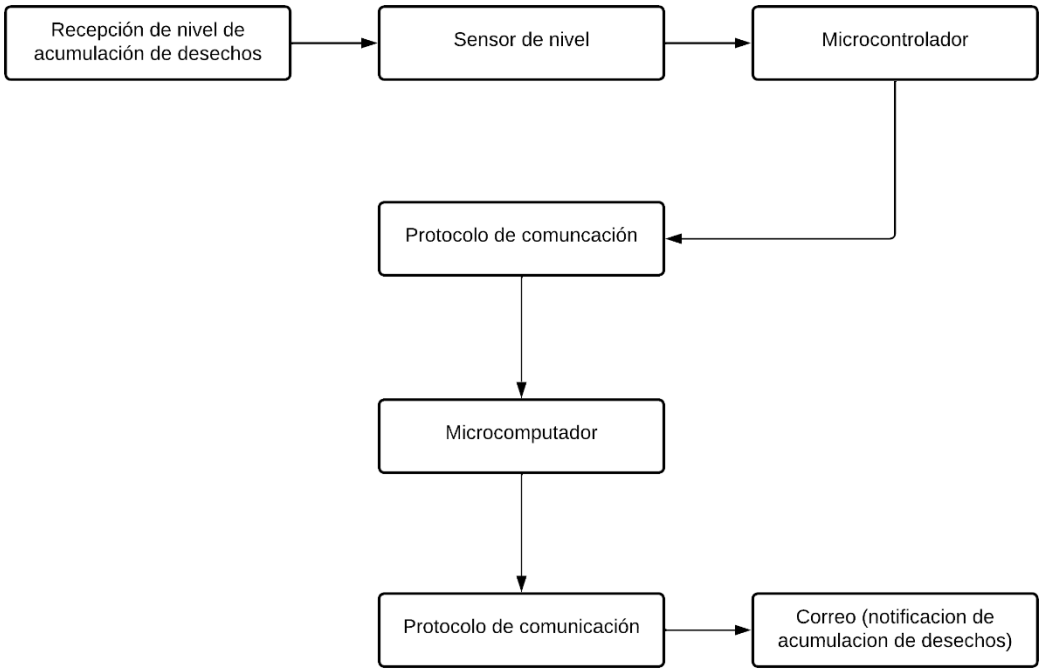
- El prototipo de clasificación de residuos no puede mover los materiales ingresados.
- El prototipo de clasificación de residuos no tiene la capacidad de reconocer residuos que no estén dentro de su base de datos.
- El prototipo de clasificación de residuos no posee la capacidad de realizar cálculos con los datos obtenidos.
- El prototipo de clasificación de residuos no tiene la cualidad de liberar el espacio por sí mismo.

3.4 DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE VISION E IOT DEL DISPOSTIVO

En este apartado del documento se realiza el diseño de la arquitectura para la construcción del prototipo de clasificación de residuos el cual dispone con la facultad de dar solución a la problemática planteada. Con la finalidad de mejorar el esquema de reciclaje en la institución, se

optó por dividir el prototipo en 2 arquitecturas denominadas “recepción de imagen de residuos” y “recepción y envió de notificaciones”, el primero es donde se hace la recepción de las imágenes o fotogramas y el segundo se encarga de enviar la señal de que el contenedor se encuentra lleno enviando una notificación al usuario.

Figura 4. Arquitectura general con respecto al funcionamiento del sistema de visión artificial.

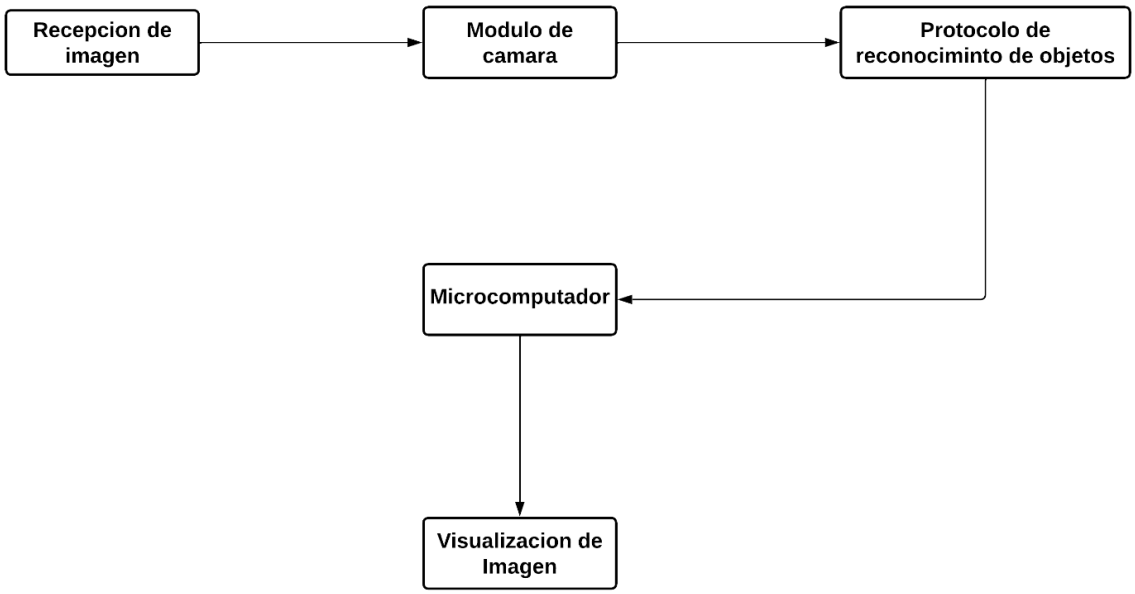


FUENTE PROPIA (2023)

En la figura 4, se muestra un diagrama con una arquitectura general del funcionamiento del sistema de visión artificial para lograr que el prototipo funcione de manera óptima. Para lograr que el sistema haga todas sus funciones se tiene que inicializar el software encargado de la funcionalidad de recepción de residuos llevando a cabo la parte fundamental del sistema con la ayuda de un módulo de cámara conectado a un microcomputador establece una conexión por medio

de un protocolo de reconocimiento de objetos. Su funcionalidad se puede apreciar de mejor manera en la figura 5.

Figura 5. Arquitectura general del funcionamiento del sistema



FUENTE PROPIA (2023)

En la figura 5, se enseña un diagrama de arquitectura general con los conceptos ya mencionados en el desarrollo del capítulo 2. En este diagrama se pueden apreciar los módulos anteriormente mencionados, el primero se implementa con la ayuda de un microcontrolador el cual integra algunos sensores y módulos que permiten la recolección de información y la interpretación para que el sistema para dar a lugar al módulo 2 que es integrado con un microcomputador el cual permite el almacenamiento de los datos ingresados haciendo uso de herramientas para ser tratado como un servidor local. Para finalizar se incluye un protocolo de comunicación mediante el cual se realiza la transmisión de datos vía WI-FI y bluetooth ya que no existe una comunicación alámbrica para hacer este procedimiento.

3.5 IDENTIFICACION DE LOS COMPONENTES HARDWARE

Para encontrar y definir los componentes y módulos requeridos para la construcción de este prototipo de selección de residuos, se tuvo en cuenta los requisitos del desarrollo y la disponibilidad de los dispositivos que se encuentran en el mercado y están a nuestro alcance y son los que se muestran a continuación.

Figura 6. Cámara USB genérica

CAMARA USB GENERICA

FUENTE ADAPTADA (FALABELLA S.A.S, 2023)

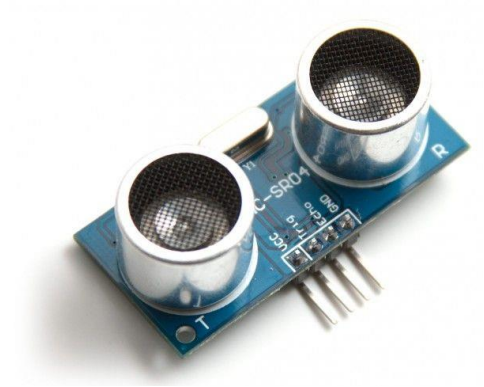
Esta cámara es capaz de recibir y emitir una señal de visión a 1080px, que emita o perciba a esta calidad es considerada HD (high definition) además de poseer un micrófono integrado, pero no se hará uso de este mismo para este proyecto. Es compatible con la mayoría de los sistemas como Windows en todas sus versiones, MAC, Android TV box, LINUX, etc.

ESPECIFICACIONES TECNICAS – CAMARA USB GENERICA	
Marca	Genérica
Modelo	G200
Tipo	Webcam
Material	ABS
Conexión	USB
Compatibilidad	Windows/Osx/Mac/Linux
Reconocimiento de voz	No
micrófono	Si
Velocidad USB	2.0

Tabla 2. Especificaciones tecnicas – camara usb generica

SENSOR ULTRASONICO HC-SR04

Figura 7. Características del sensor ultrasónico HC-SR04



FUENTE ADAPTADA DE (ARDOBOT ROBÓTICA SAS, 2022)

Este módulo o sensor es capaz de emitir y recibir ondas sónicas que rebotará en el obstáculo más cercano, esta frecuencia es inaudible para los seres humanos ya que trabaja a una frecuencia de 40KHz esto se lleva a cabo para 2 funcionalidades como son detectar el tiempo en que tarda en ir y volver la señal y así determinar la distancia exacta a la que se encuentra el obstáculo.

ESPECIFICACIONES TECNICAS – HC-SR04	
Voltaje de operación	5V
Frecuencia de trabajo	40 KHz
Consumo Suspendido	< 2mA
Consumo trabajando	15mA
Angulo efectivo	< 15°
Distancia	2cm a 400cm*
Resolución	0.3 cm

Tabla 3. Especificaciones tecnicas – hc-sr04

PINES

1. Vcc.
2. Trigger.
3. Echo.
4. Ground.

MODULO ESP32-DEVKIT-V1

Figura 8. Modulo ESP32-DEVKIT-V1

FUENTE ADAPTADA DE (FERRETRÓNICA, 2023)

Es un módulo que puedes usar con multitud de proyectos, y con Arduino. Es un completo módulo con un microcontrolador integrado, lo que lo puede hacer funcionar de forma independiente. Además de la conectividad Wifi y Bluetooth además de disponer de una entrada de alimentación de energía tipo C.

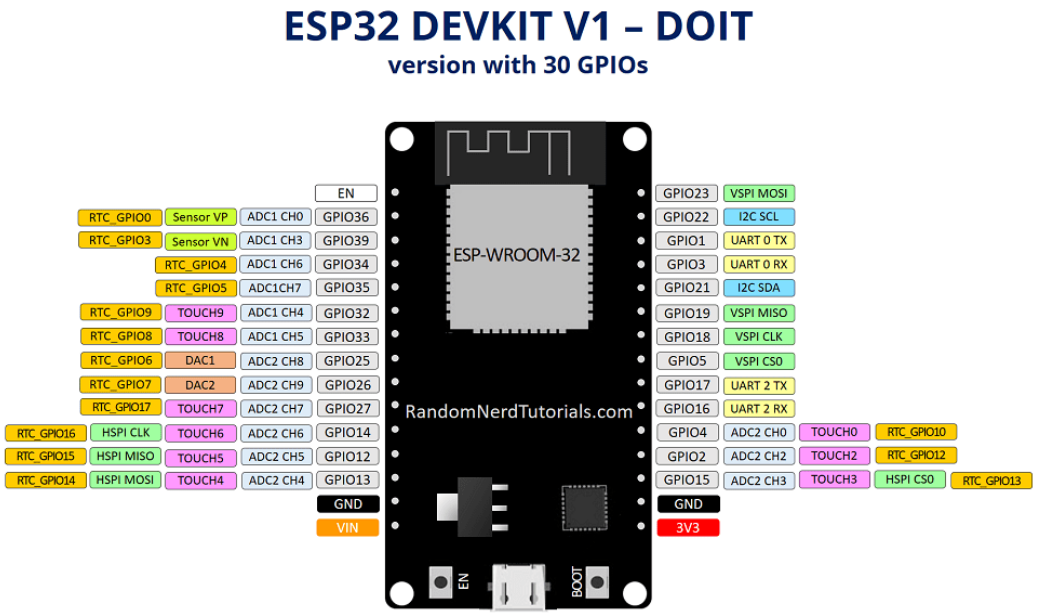
Este módulo no es nada caro con un valor en el mercado de $25000, y puede tener multitud de aplicaciones desde una simple, como encender un led hasta el envió de una notificación por medio de un correo electrónico. Desde algunas simples de IoT, e incluso como sistema de vigilancia para comprobar lo que sucede en un lugar de forma remota logrando conexiones a larga distancia.

ESP32 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
SoM (System on module)	ESP-WROOM-32
Procesador	Tensilica Extensa Dual-Core 32-bit
Frecuencia de reloj	hasta 160 MHz.
Memoria	448 Kbyte ROM
	520 Kbyte SRAM
	16 Kbyte SRAM RTC
Numero de pines GPIO	25
Wifi	802.11b/g/n/e/i estándar
Bluetooth	Bluetooth 4.2 con BLE.
Voltaje de alimentación	5V DC
Niveles de voltaje de entrada y salida	3.3V DC

Tabla 4. Esp32 Especificaciones técnicas

PINES

Figura 9. ESP32 Especificaciones Técnicas



FUENTE ADAPTADA DE (FERRETRÓNICA, 2023)

RASPBERRY PI 4

Figura 10. Raspberry pi 4 especificaciones técnicas

ADAPTADA DE (ROCIO GR, 2023)

Raspberry Pi 4 Modelo B es el último producto de la popular gama de computadoras Raspberry Pi. Ofrece incrementos revolucionarios en la velocidad del procesador, el rendimiento multimedia, la memoria y la conectividad en comparación con la Raspberry Pi 3 Modelo B + de la generación anterior, al tiempo que conserva la compatibilidad con versiones anteriores y un consumo de energía similar. Para el usuario final, Raspberry Pi 4 Modelo B proporciona un rendimiento de escritorio comparable al de los sistemas de PC x86 de nivel de entrada.

Las características clave de este producto incluyen un procesador de cuatro núcleos de 64 bits de alto rendimiento, soporte de pantalla dual en resoluciones de hasta 4K a través de un par de puertos micro-HDMI, decodificación de video por hardware de hasta 4Kp60, hasta 8GB de RAM, doble LAN inalámbrica de banda 2.4 / 5.0 GHz, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet, USB 3.0 y capacidad PoE (a través de un complemento PoE HAT separado). La LAN inalámbrica de doble banda y Bluetooth tienen pruebas de cumplimiento muy bajas, lo que mejora el costo y el tiempo de comercialización.(engineer.ahsin 2021)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS – RASPBERRY PI 4	
Procesador	Broadcom BCM2711, SoC de 72 bits Cortex A8 de cuatro núcleos (ARM v64) a 1.5 GHz
Memoria	LPDDR1 de 2GB, 4GB, 8GB según el modelo
LAN – Wifi	IEEE 2.4b /g /n/ ac de 5.0Ghz y 802.11 Ghz
Bluetooth	5.0, BLE
Gigabit Ethernet	
Puertos USB	2 V 3.0 y 2 V 2.0
Puertos GPIO	40 pines
Salida de video	2 HDMI micro

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS – RASPBERRY PI 4	
Puerto de audio y video compuesto	
Ranura de tarjeta micro SD	
Puerto de alimentación USB-C	
Voltaje de alimentación	5V CC a través del conector USB-C
Voltaje de alimentación	5V DC a través del encabezado GPIO
Temperatura de funcionamiento	0 – 50 °C

Tabla 5. Especificaciones técnicas – raspberry pi 4

LCD DISPLAY GENERICA (PANTALLA)

Figura 11. Pantalla LCD para la visualización de datos

FUENTE ADAPTADA DE (LCD WIKI, 2018)

La pantalla LCD display-B, es una pantalla táctil la cual permite la visualización de datos y ejecución de acciones como podrían ser el clic entro otros. Particularmente esta pantalla puede ser usada de manera táctil o pantalla convencional lo cual le da mucha variabilidad para los diferentes usos que se le puede dar a este dispositivo.

ESP32 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Display	800x480
Capacidad Táctil	Si máximo 5 puntos.
Soporta luz negra.	Si para ahorrar energía.
Microprocesadores que soporta	Raspberry pi, BB black, Banana pi, etc.
Soporta HDMI	Si puede ser usado como un monitor.
sistemas operativos que soporta	Raspbian, Ubuntu, Kali-Linux, Kodi, win10 IOT, single-touch, drivers libres.
Trabaja sobre	PC monitor, support win7, win8, win10 system 5 point touch (XP y antiguas versiones del sistema: single-point touch), drivers libres

Tabla 6. Especificaciones técnicas de pantalla lcd

3.6 IDENTIFICACION DE LOS COMPONENETES SOFWARE

En este apartado nos centraremos en la identificación de los componentes software necesarios para el funcionamiento de sistema, esto se llevará a cabo con la fundamentación que el software sea libre y de documentación sencilla para así lograr una buena práctica y de ser necesario solucionar problemas sea de fácil acceso.

3.6.1 RASPBERRY PI OS

Es un sistema operativo gratuito basado en Debian, optimizado para el hardware Raspberry Pi y es el sistema operativo recomendado para uso normal en una Raspberry Pi. El sistema operativo viene con más de 35,000 paquetes: software precompilado incluido en un formato agradable para el usuario y así hacer una fácil instalación en su Raspberry Pi. El sistema operativo Raspberry Pi se encuentra en desarrollo activo, con énfasis en mejorar la estabilidad y el rendimiento de tantos paquetes Debian como sea posible en Raspberry Pi.

3.6.2 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN SMTP

SMTP es un protocolo utilizado para enviar y entregar correos electrónicos a través de Internet. Es un sistema confiable y sencillo que se encarga de la entrega de mensajes desde el remitente hasta el buzón del destinatario. Los servidores de correo electrónico utilizan el SMTP para enviar y recibir mensajes, estableciendo conexiones y enviando comandos para obtener los mensajes del servidor del remitente. Es el protocolo estándar utilizado por los principales proveedores de correo electrónico.

Tomando en cuenta lo anterior podemos decir que es el protocolo que los permite enviar una notificación por medio de un correo electrónico.

3.6.3 INTELIGENCIA ARTIFICAL

A lo largo de los últimos años; y en este tiempo podemos asimilar como un simple puñado de materia como somos nosotros podemos comprender, predecir, percibir y manipular un mundo mucho más grande que nosotros mismos.

Tomando en cuenta lo anterior podemos inferir que hay una diferencia entre la “inteligencia” y la “inteligencia artificial”, ya que la inteligencia artificial no solo trata de comprender sino de construir entes inteligentes. Esta disciplina en la actualidad abarca sin número de campos que van

desde lo especifico como aprendizaje, percepción y razonamiento. Estableciendo criterios que miden el éxito en términos de fidelidad al rendimiento humano, en este caso nos centraremos en la parte del raciocinio y percepción anclando nuestro propósito hacia la visión artificial. (Rusell, 2016)

3.6.4 VISION ARTIFICIAL

La visión artificial es una de las ramas de la inteligencia artificial la cual permite procesar y analizar imágenes del mundo real con la finalidad de que puedan ser interpretadas por un ordenador, siendo así el mejor interprete a nivel mundial para la identificación de imágenes un ejemplo de uso más cotidiano es en vigilancia, reconocimiento facial hasta funcionamiento de sistemas robóticos. (Borrella, 2022)

Es principal elemento de este sistema es los pixeles es decir cada parte que conforman una imagen virtual para ello se lleva a cabo una serie de operaciones matemáticas más conocidas como filtros los cuales trabajan bajo una máscara. Para este proyecto nos centraremos en la parte de detección de objetos en tiempo real.(beatriz_borrella_introduction.pdf 2019)

3.6.5 ULTRALITYCS YOLOV5 PYTORCH

Es un modelo de detección dedicado enteramente para visualizar objetos, personas entre otros en tiempo real para posteriormente ser detectados según la dinámica creada en el DataSet o para ser más concreto la cantidad y diversidad de imágenes agregadas para que el sistema detecte de manera inmediata que tipo de objeto es, este modelo trabaja en base a Pytorch que es una librería que permite detectar visión, audio entre otros, se hizo uso de la versión YoloV5 ya que es la más óptima para trabajar en un sistema de bajos recursos como es la Raspberry pi 4b, para la optimización recursos se realizó todo el trabajo en Google Colab el cual nos permite ejecutar códigos en el drive de Google pero en este caso usamos el programa de manera que sea totalmente

gratis ya que la cantidad de datos a utilizar no supera los 1000 archivos, contribuyendo de manera directa en el entrenamiento.(Ultralytics 2020)

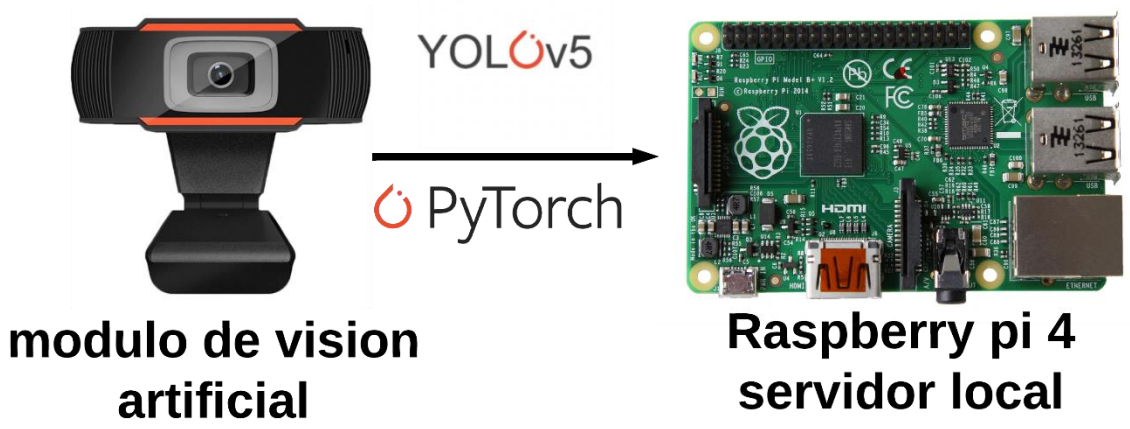
Figura 12. ULTRALITYCS YOLOV5 PYTORCH

FUENTE ADAPTADA DE (GITHUB, 2023)

3.6.6 ARQUITECTURA DE CONSTRUCCION

Comenzando con la arquitectura de visión artificial, podemos observar en la figura 13 como se desarrolla ese proceso. Ahora, procedemos a detallar el módulo para la construcción de recepción de variables físicas, específicamente la detección de imágenes en tiempo real. Para llevar a cabo esta tarea, empleamos las herramientas YoloV5 con Pytorch, en este procedimiento aprovechamos una cámara USB genérica, la cual se integra sin programación adicional, simplemente requiere ser conectada al módulo principal: en este caso nuestra Raspberry pi 4B. Aquí es donde entra en funcionamiento el sistema, dando a lugar a la creación de la arquitectura IoT, la cual es requerida para enviar una notificación.

Figura 13. ARQUITECTURA DE CONSTRUCCION

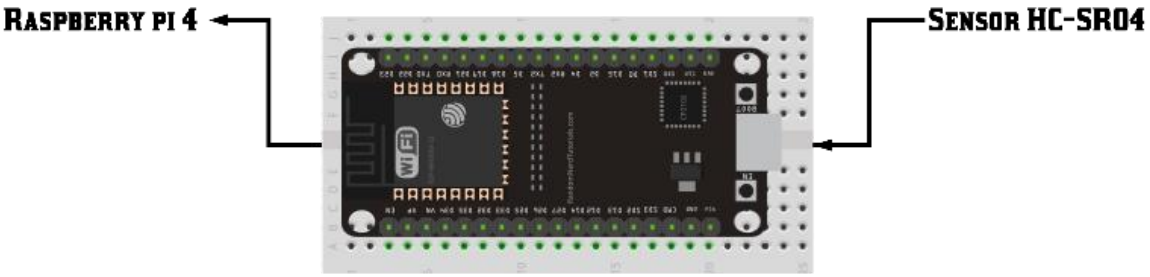


FUENTE PROPIA (2023)

Comenzando desde el diagrama de arquitectura IoT mostrada anteriormente en la figura 4 se procede a continuar de manera detallada con el módulo de recepción de variables físicas, el cual lo podemos apreciar en la figura 13 donde se representa de manera minuciosa la arquitectura del módulo. Para la implementación del microcontrolador tomamos en cuenta el uso de una placa ESP-32 en la cual vamos a realizar la instalación y gestión del sistema encargado de verificar el nivel en el cual se encuentra los desechos en cada momento y el sensor que tiene la responsabilidad de

este proceso es el HC-SR04 el cual tiene la capacidad de percibir su entorno mediante el uso del ultrasonido y percatarse de la posición en cual se encuentran los objetos en este caso serían los residuos que se depositan en el sistema. Las señales físicas son entregadas por el microcontrolador hacia el microcomputador por medio de un protocolo de comunicación vía Wifi.

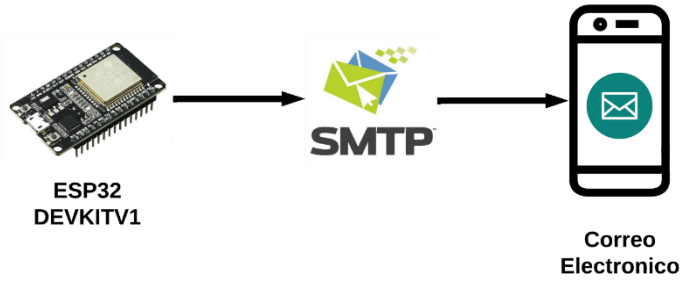
Figura 14. Recepción de variables físicas



FUENTE PROPIA (2023)

A continuación, vamos a ver como el diseño de arquitectura de envió de notificaciones que esta detallado en la figura 14, logrando de manera consistente el funcionamiento por medio de conexiones IoT por medio de un sistema integrado por una raspberry pi 4b con un sistema operativo raspberry pi OS, el cual es el sistema adecuado para trabajar con este sistema ya que este software está hecho a la medida para el funcionamiento de este hardware además de poseer una gran compatibilidad con diferente software libre. Este módulo gestiona todas las señales físicas recibidas para enviarlas y mostrarlas mediante una interfaz gráfica realizada por medo de la herramienta ESP32_MailClient con protocolo SMTP, ya que esta es el eje central del funcionamiento del sistema en este tramo del sistema recibiendo y enviando los datos que el encargado de esto es la raspberry pi 4b ya que esta funciona como servidor local.

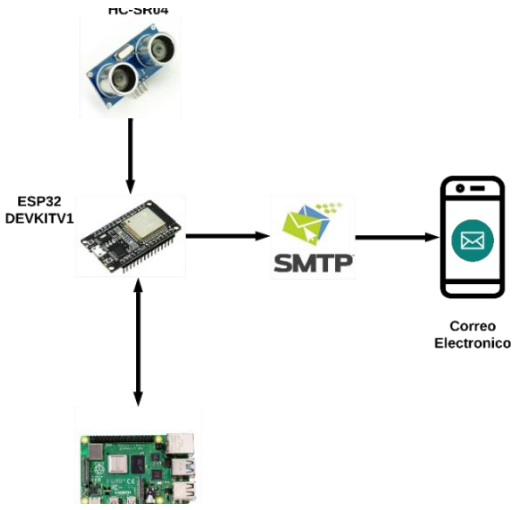
Figura 15. Envió de notificación con SMTP



FUENTE PROPIA (2023)

En esta segunda fase, para el diseño de la arquitectura se detalla el protocolo de comunicación que permitirá él envió y la recepción de las diferentes variables enviadas por la raspberry para esto se llevara a cabo por medio de Wi-Fi, mediante la implementación del protocolo MQTT, el cual funciona como servicio de mensajería por medio de un correo electrónico que se ejecutara por medio de ESP32 con su respectiva librería que es ESP32_MailClient la cual nos permite enviar una notificación por medio de la ESP32 hasta el correo de la persona encargada de vaciar los contenedores,. en correlación con lo explicado anteriormente se expone el diseño de la arquitectura IoT del dispositivo por completo en la figura 15.

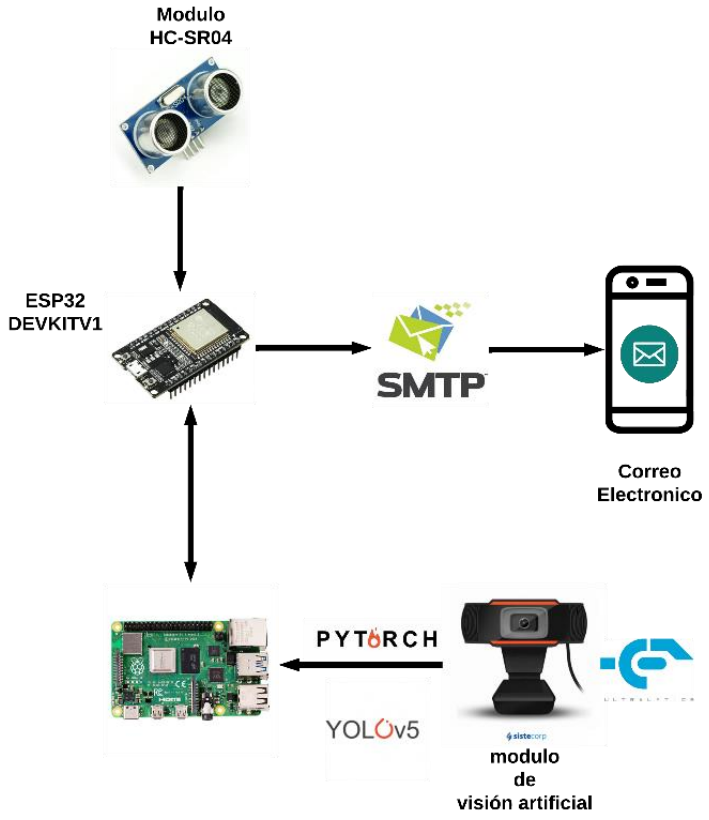
Figura 16. Conexión raspberry con esp32



FUENTE PROPIA (2023)

En última instancia, tomando todo lo desarrollado se realiza una conexión con el módulo de reconocimiento visual el cual está programado con un protocolo de visión artificial denominado YoloV5 en cual nos permite por medio de una conexión de una cámara no necesariamente programable lograr una captura en tiempo real con un recuadro que nos muestra en pantalla que tipo de objeto está en frente de la cámara en ese momento esto se debe a que el DataSet esta es buenas condiciones y cumple con la cantidad mínima de datos para realizar esta operación, pero para lograr todo esto se establece la conexión con la raspberry pi 4b como se muestra en la figura 16 y así lograr una buena comunicación entre los 2 módulos que integran el sistema.

Figura 17. Conexión Total

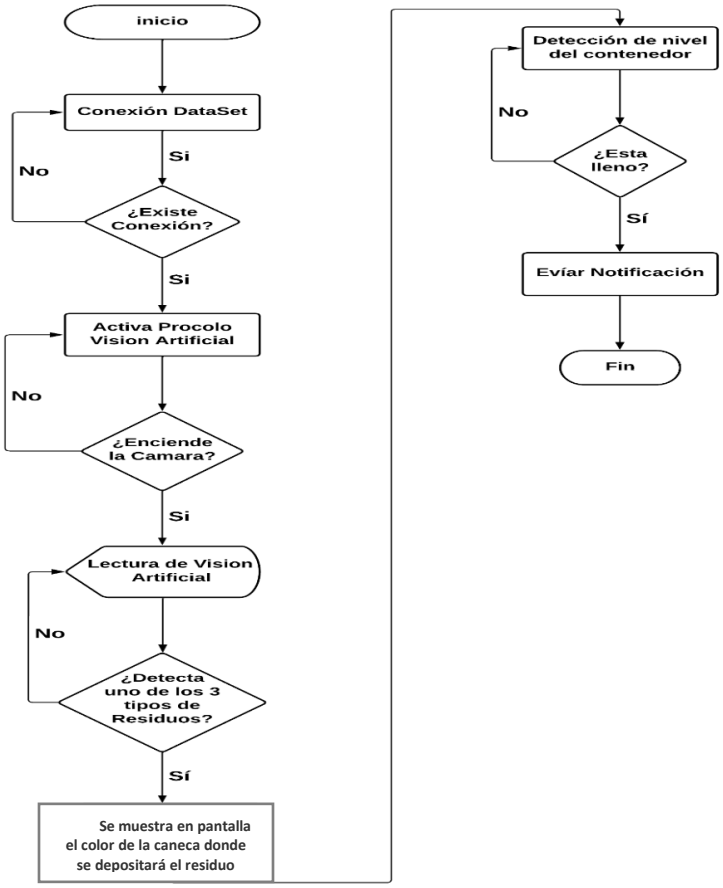


FUENTE PROPIA (2023)

3.7 DISEÑO DETALLADO.

En este apartado se da como finalizada la parte de diseño del dispositivo dando lugar a la generación del diagrama de flujo que nos permite describir el proceso algorítmico de los diferentes pasos a llevar a cabo de manera organizada y sistemática para el momento de la ejecución, y para terminar con una descripción grafica las conexiones que tendrán los diferentes componentes de tipo software que integran el prototipo de selección de residuos. Teniendo en cuenta que poseemos un módulo que permite el almacenamiento de forma local, para que el prototipo tenga un funcionamiento optimo esté debe de estar encendido para dar a lugar al inicio de la secuencia que tomara desde la recepción de señales físicas hasta le suministro eléctrico (figura 17).

Figura 18. Diagrama de flujo



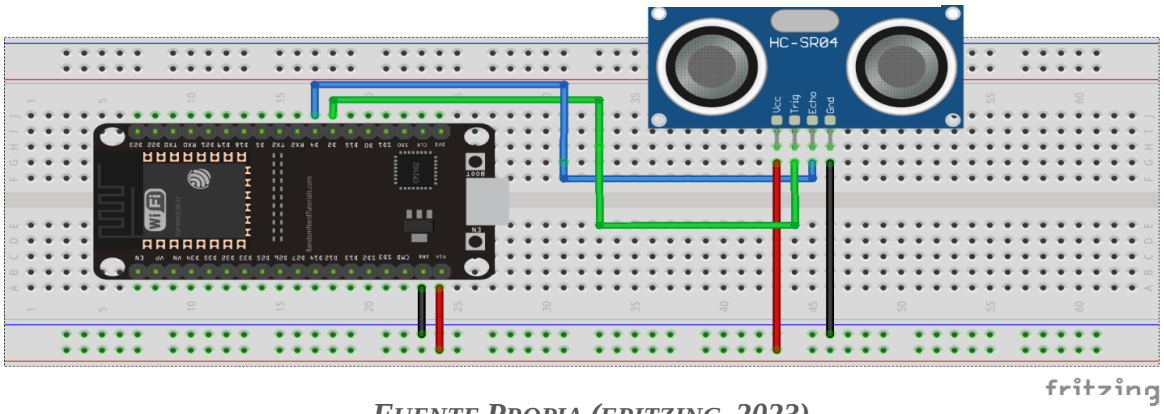
FUENTE PROPIA (2023)

3.8 DIAGRAMA DE CONEXIÓN

En este apartado del diseño se muestra las conexiones iniciales y finales de cada uno de los módulos con cada parte que lo conforma entre ellos sensores y leds, estas partes van conectadas tanto en placa de desarrollo ESP32 y el microcomputador RASPBERRY PI 4B, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado a lo largo de este documento se elaboran los siguientes diagramas para detallar de manera más precisa las conexiones eléctricas establecidas para el óptimo funcionamiento del sistema, este también es denominado como diagramas de montaje.

El sensor ultrasónico HC-SR04 hace uso de sus 4 pines de conexión para funcionar, siendo estos uno VCC para la alimentación de energía desde Vin que viene de la ESP32, el siguiente seria GND que este caso es el de tierra en común que viene desde la esp32, procedemos a indagar en los 2 pines de conexión que serían TRIG que permite enviar una señal ultrasónica hasta llegar a un objeto en el cual rebotara, va conectado directamente a la ESP32 en el pin D2 y el pin ECHO es el encargado de recibir la señal que envió el TRIG y calcular la distancia en la que se encuentra el objeto en el que rebota que conectado directamente en la ESP32 en el pin D4 (figura 18).

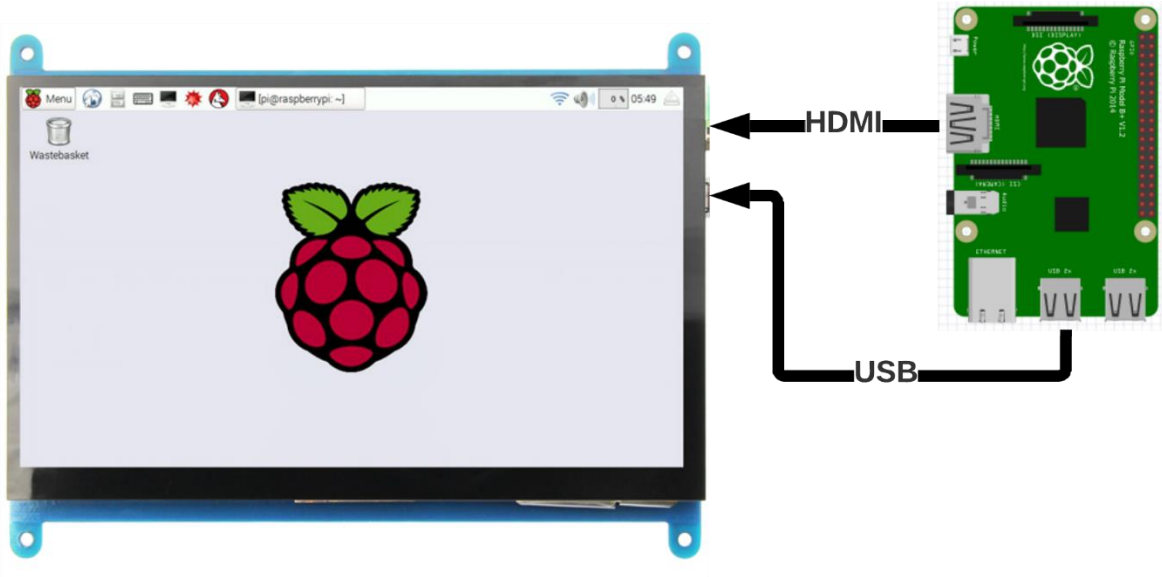
Figura 19. Conexión ESP32 con Sensor Ultrasonico



FUENTE PROPIA (FRITZING, 2023)

Una vez analizada la conexión del sensor, pasamos a interpretar como se hará visible para el usuario donde debe depositar los desechos para ellos hacemos uso de una pantalla.

Figura 20. Conexión Raspberry pi 4 con pantalla LCD



FUENTE PROPIA (2023)

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se realiza una conexión general del sistema mecánico como se muestra en la figura 16, haciendo uso del sensor el microprocesador y microcomputador desde el microprocesador damos el voltaje y la conexión de tierra en común ya que este cuenta con la variabilidad de voltaje de esta es de 5V o 3.3V, en este caso haremos uso del voltaje en general de 5V ya que todos los circuitos se manejan mejor sobre este mismo. Llevando a cabo una conexión segura y optima se hace uso de un cable USB que permite alimentar el microcomputador y la transferencia de datos este va conectado a la Raspberry.

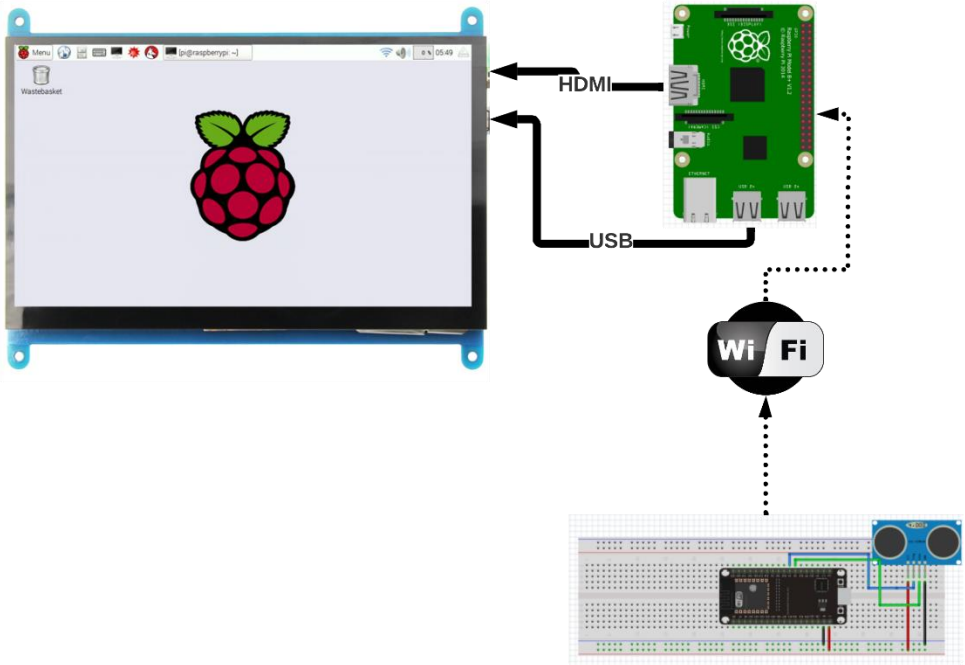
3.9 IMPLANTACION DEL SISTEMA

Una vez finalizada la base del diseño se procede a seguir con la construcción del prototipo de reciclaje automatizado y de los diagramas de conexión en los pasos anteriores, se lleva a cabo la implementación del sistema en general.

3.10 RECEPCION DE VARIABLES VISUALES.

La construcción de este módulo se realiza teniendo en cuenta la arquitectura que se muestra en la figura 16 Y los diagramas de conexión mostrando el diseño detallado, con cada componente de tipo software antes utilizados, los cuales son listados en la siguiente tabla.

Figura 21. Implementación del sistema Hardware



FUENTE PROPIA (FRITZING, 2023)

LISTA DE COMPONENTES SOFTWARE
IDE ARDUINO
VISUAL STUDIO CODE
MOSQUITTO
VIRTUAL ENVIRONMENT
RASPBERRY PI OS
ESP32 MAIL CLIENT
SMTP

Tabla 7. Lista de componentes software

Lo primero que debemos hacer es habilitar el sistema para poder trabajar, para ellos instalamos el sistema operativo necesario para el funcionamiento de la Raspberry pi 4B, que en este caso se hará uso del sistema operativo diseñado para estas herramientas como es el RASPBERRY PI OS, para ello haremos uso de la herramienta Raspberry Pi Imager, este sistema es muy fácil de usar ay que solo se necesita seleccionar el sistema operativo que se quiere instalar en nuestro caso fue

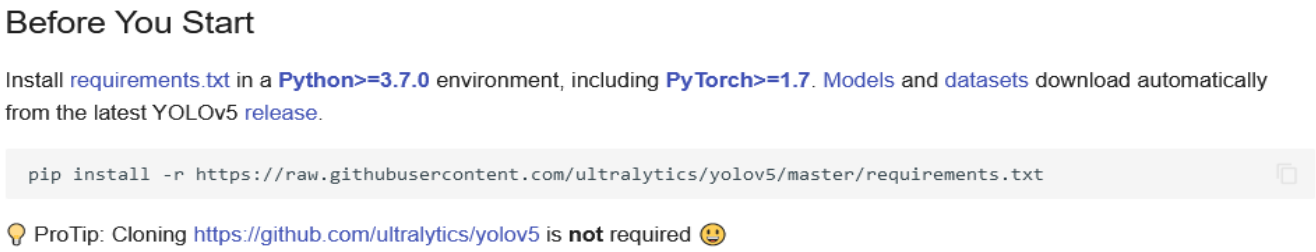
“RASPBERRY PI OS 64 bits” y el lugar donde se va a almacenar como se muestra en la siguiente figura 22.

Figura 22. Rasberry pi OS (64 BITS)

FUENTE PROPIA (2023)

Para la creación de este sistema visión artificial se desarrolló de manera escalonado ya que esto permite mejorar el rendimiento y que se lleguen a generar errores a lo largo de la construcción del sistema desarrollando las conexiones y la configuración pertinente para el funcionamiento de este mismo. Para asegurar que el sistema tenga un correcto trabajo se crea un entorno virtual el cual nos permite instalar todo tipo de librerías y programas necesarios para que el sistema no tenga errores, para lograr que se desarrolle de manera correcta se instalan unos requerimientos necesarios para que los sistemas como se muestra en la figura 23.

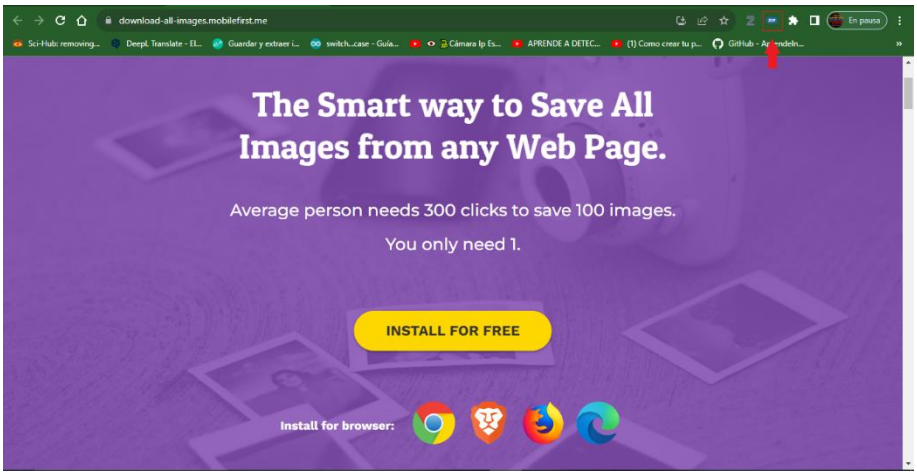
Figura 23. Requerimientos Necesarios



FUENTE PROPIA (2023)

Tomando en cuenta que la cantidad de imágenes necesarias para el óptimo funcionamiento del sistema, se hace uso de una extensión que nos ofrece Google Chrome denominada “Download All Images”, la cual nos permite descargar imágenes por lotes de 100 cada vez que se hace uso de ella en un archivo Winrar, como se muestra en la figura 24.

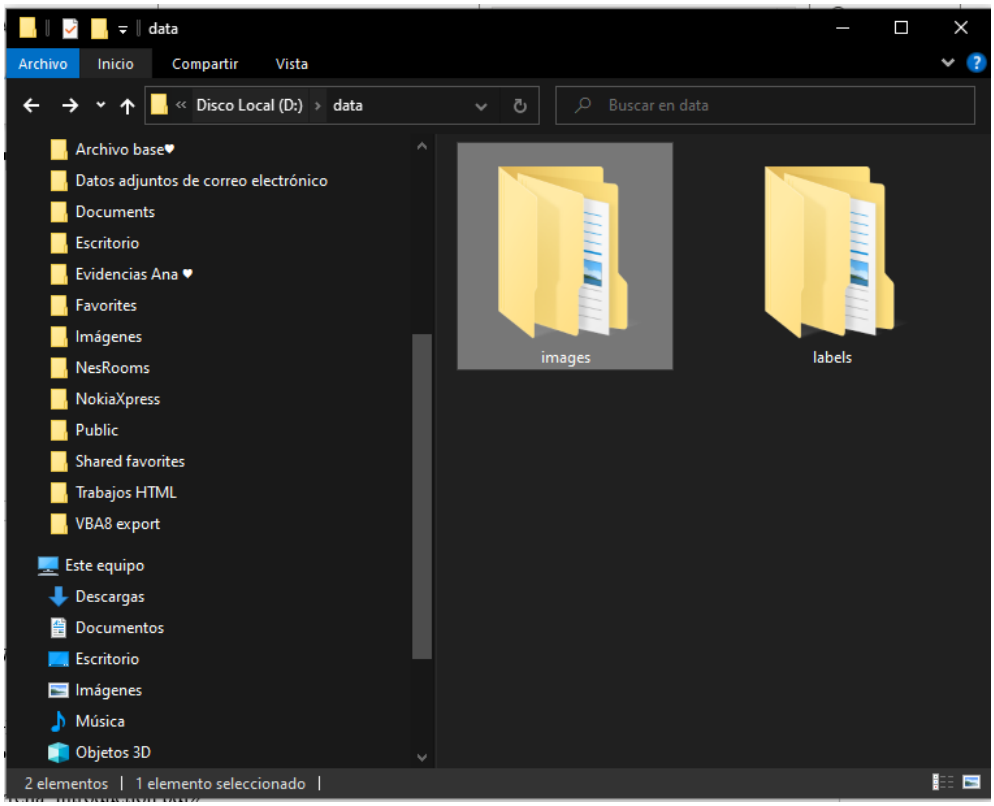
Figura 24- Presentación de la Extensión “Download All Images ”



FUENTE PROPIA (2023)

Una vez obtenidas las imágenes necesarias por medio de la extensión procedemos a organizar una carpeta denominada “Data”, en la cual estarán incluidos los datos necesarios para la validación del sistema, la cual está compuesta por 2 carpetas internas una de Images (imágenes) y labels (etiquetas) en ambas carpetas se manejan otras 2 carpetas internas denominadas: val y train; internamente estarán los archivos necesarios para el funcionamiento del sistema y están dividas de la siguiente manera un 70% para Train y el otro 30% para Val, como se muestra en la figura 25.

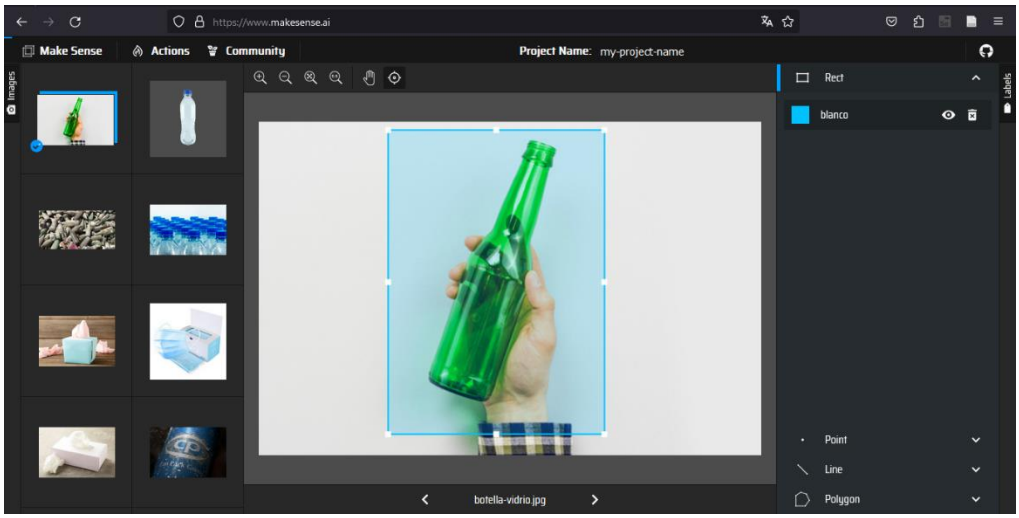
Figura 25 Contenido carpeta Data



FUENTE PROPIA (2023)

Se hace uso de esta herramienta para generar las diferentes etiquetas que son necesarias para la validación de las imágenes que se obtuvieron en la figura, ya que YoloV5 necesita de un archivo que le permita interpretar los objetos que serán validados. A lo largo de proceso de identificación, como se muestra en la figura 26.

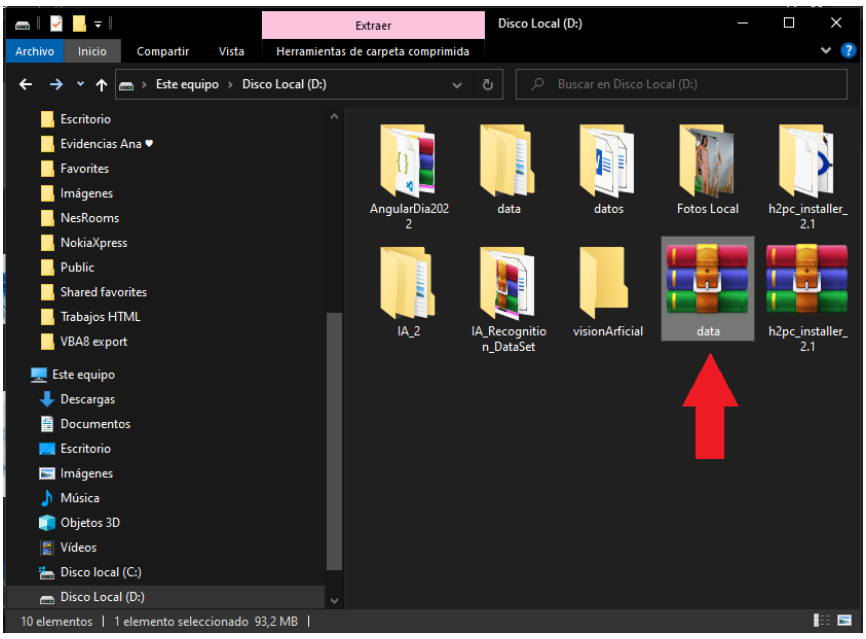
Figura 26 Creación de etiquetas en Make Sense



FUENTE PROPIA (2023)

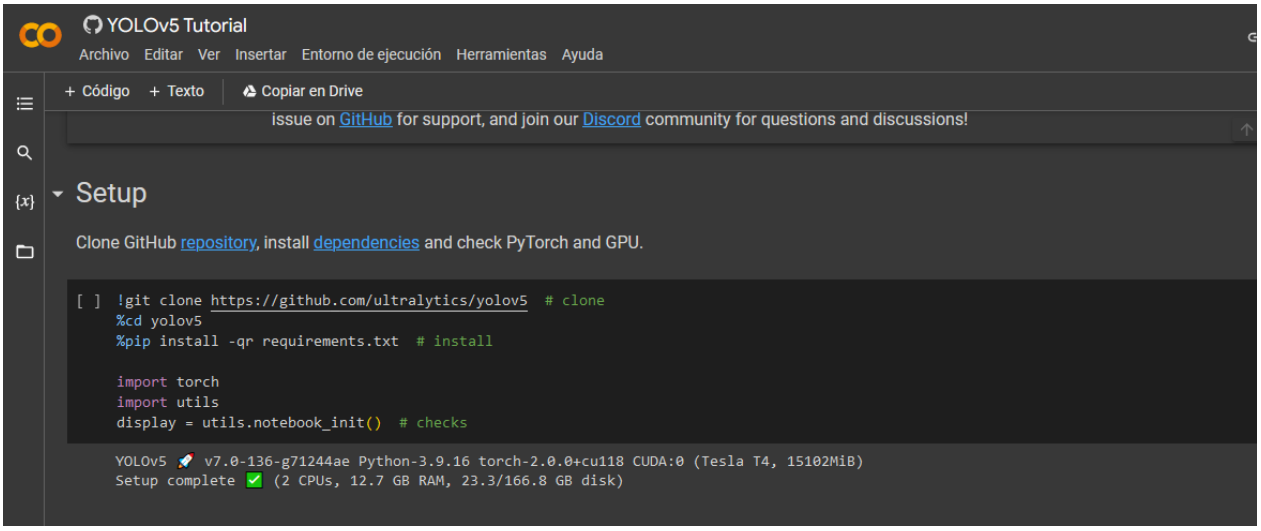
Una vez terminada la creación de las etiquetas se procede a integrar dentro de la carpeta Data la cual interpretara los datos. Por medio de WinRar se comprime la carpeta "Data" para poder subir los datos sin que se pierdan en el proceso en Google Drive, después de este paso se integrará dentro del Google Colab para proceder con el entrenamiento como se muestra en la figura 27.

Figura 27 Compresión de carpeta Data



1 FUENTE PROPIA (2023)

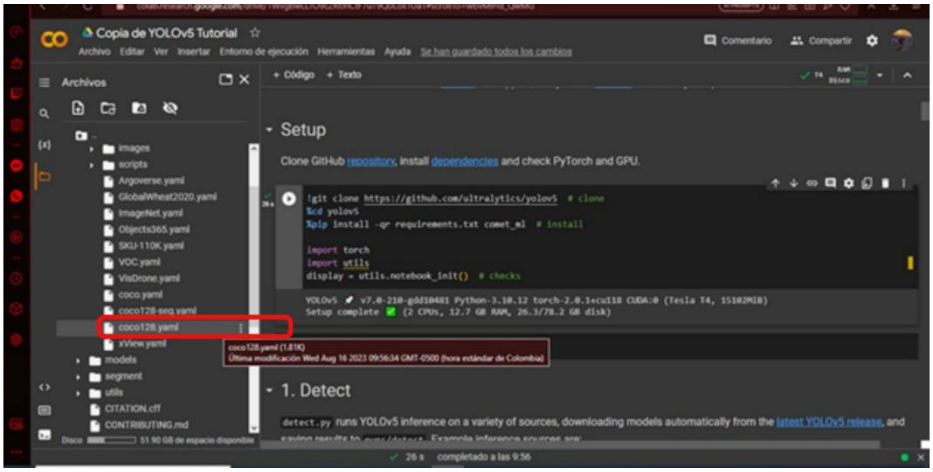
Figura 28. Creación carpeta "Yolov5" en el Dataset



FUENTE PROPIA (2023)

El paso a seguir es crear un DataSet en Google Colab con las especificaciones necesarías para que logre funcionar con YoloV5, para esto tenemos que crear un entorno en este medio como se muestra en la figura 23, esperamos a que termine e implementamos lo siguiente que es cambiar el funcionamiento de este medio denominada "coco128.yaml" a este le daremos el nombre de "custom.yaml" modificándolo como se muestra en la figura 28

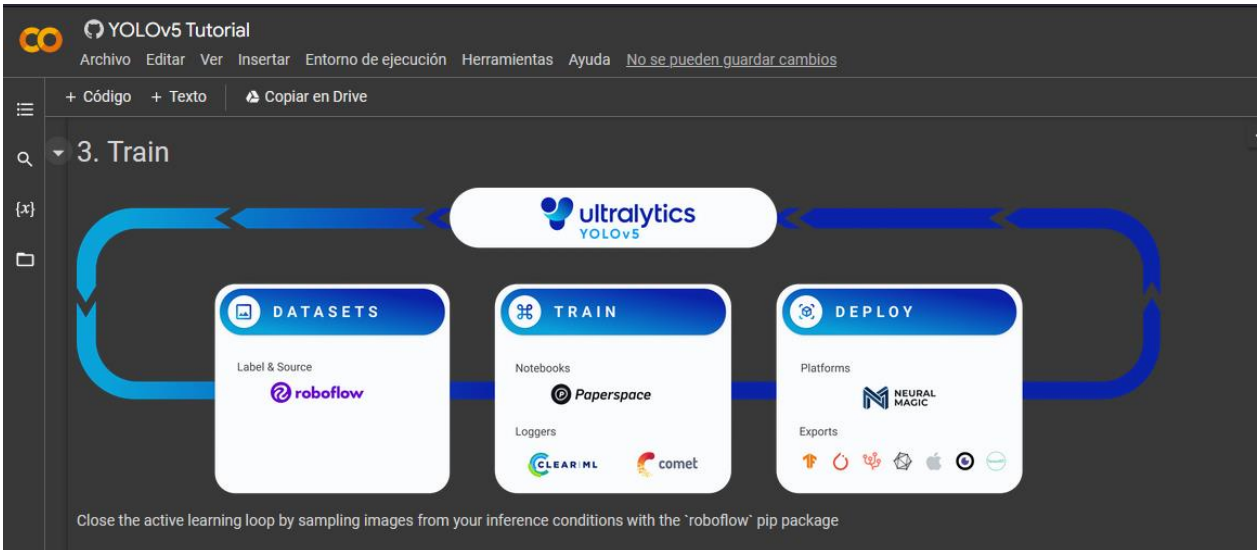
Figura 29. Identificación del archivo coco128.Yaml



FUENTE PROPIA (2023)

Aquí se muestra cómo funciona YoloV5 con Ultralitics y en la siguiente figura se muestra cómo se entrena el DataSet para lograr un correcto funcionamiento como se muestra en la figura 29.

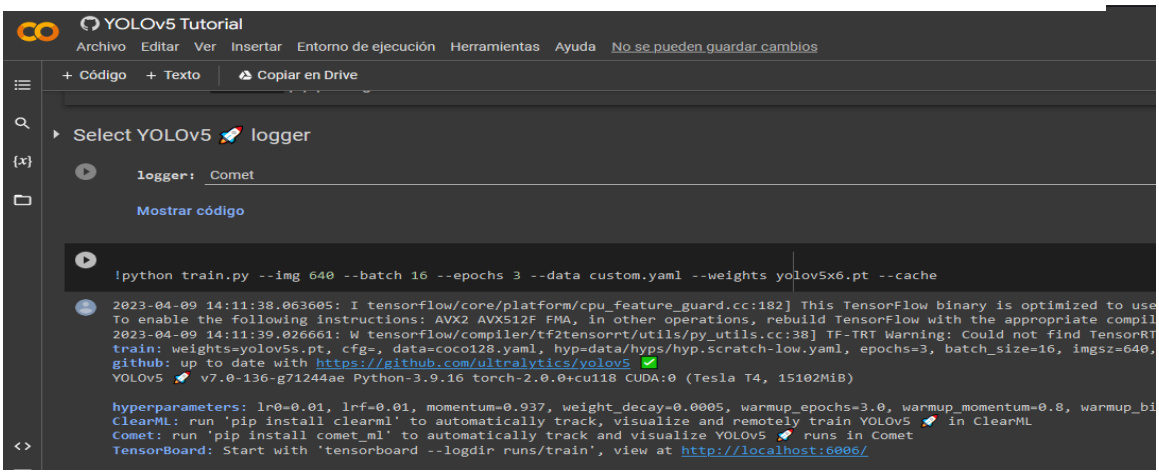
Figura 30. Entrenamiento por épocas y modelo



FUENTE PROPIA (2023)

Después de establecer esto se inicia con el entrenamiento del DataSet como se muestra en la figura 25 y para terminar descargamos el archivo para comenzar a programar la visión artificial como se muestra en la figura 30.

Figura 31. Entrenamiento del DataSet con "YoloV5"



FUENTE PROPIA (2023)

Luego de enseñar como se muestra como se hace el entrenamiento el guardara esos datos en un archivo llamado “best.pt”, este archivo es el que permite la ejecución del protocolo de YoloV5 ya que este contiene todos los datos que necesita el sistema para establecer una comunicación con el prototipo, como se muestra en la figura 31.

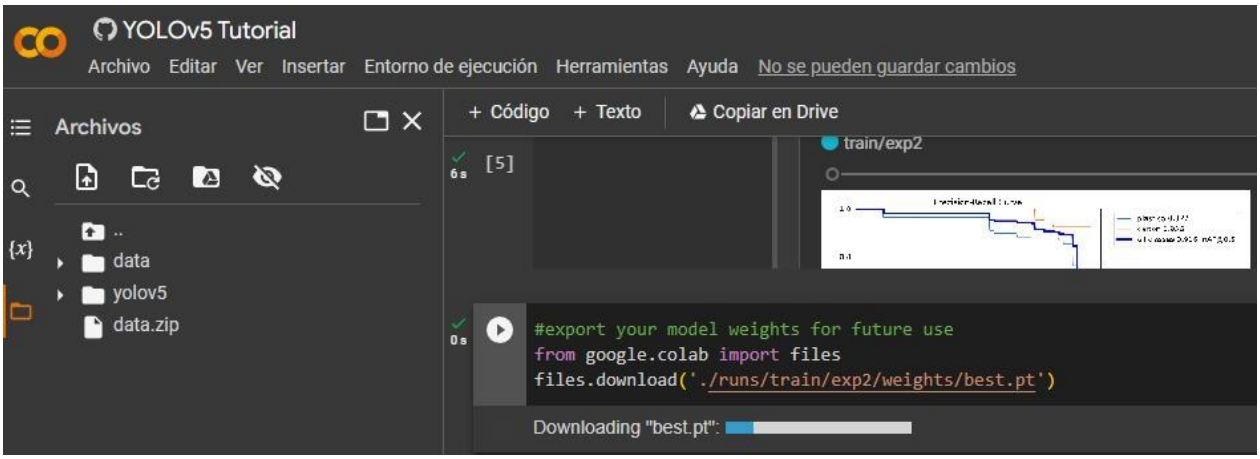
Figura 32. Instalación de requerimientos necesarios para el funcionamiento

FUENTE PROPIA (2023)

Una vez terminado con este protocolo, debe que conectar el sistema con la cámara ya que esta es la que permite que YoloV5 con Pytorch logren correr el protocolo y reconocer los objetos anteriormente mencionados en el DataSet.

Después de obtener el archivo “best.pt” lo concerniente es escribir un código el cual sea capaz de ejecutar el sistema de visión artificial para esto tomaremos en cuenta la línea de código que se encuentra en la figura 32, para proceder con la implementación del archivo “detect.py” como se muestra en la figura 33.

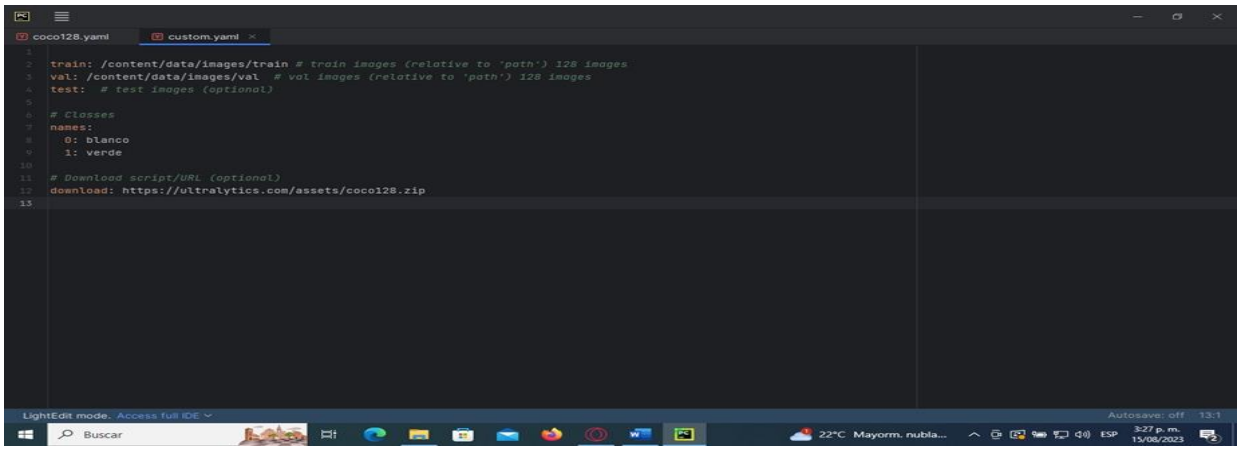
Figura 33. Importación del archivo best.pt



FUENTE PROPIA (2023)

Para que el archivo “detect.py” tenga un buen funcionamiento lo primero es exportar y declarar las librerías necesarias, procedemos a implementar el modelo desde Ultralytics cargando el modelo que se creó anteriormente llamado “custom” como se muestra en la figura 34, junto con un path el cual se avala en con el archivo “best.pt” al cual le modificamos en nombre a “reciclaje.pt”, para mejorar que el código sea más claro y conciso como se muestra en la figura 35, además de esto se declara una variable llamada “cap” la cual lee la cámara que se está conectado al dispositivo.

Figura 34. Modificación del archivo “Custom.yaml”



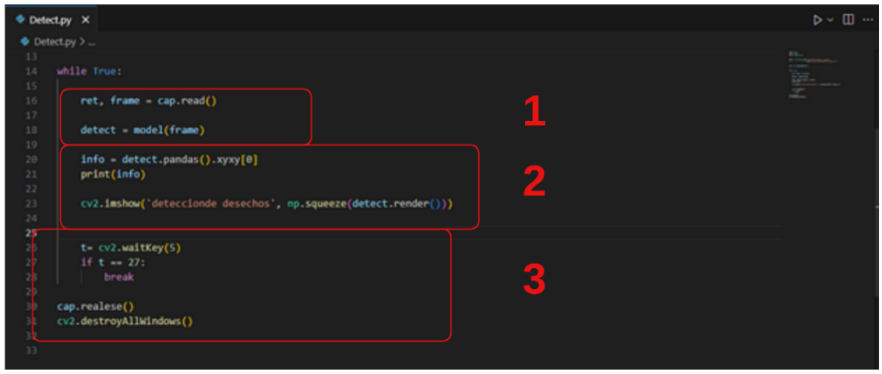
FUENTE PROPIA (2023)

Figura 35. Ejecutable de Python

FUENTE PROPIA (2023)

Una vez que se importaron las librerías y se carga el modelo junto con su path de reconocimiento pasamos a crear un ciclo “While()” en el cual se implementara la lectura y visualización de datos primero se verifica que la cámara este conectada con el dispositivo y cuando esto ocurra pasa a detectar el modelo como se muestra en la figura 36 En el número 1, en el siguiente tramo se imprime la información de la detección como se enseña en el numero 2 por último se lee el teclado y se evidencia en pantalla en la línea 3, todos los datos anteriormente mencionados caben resaltar que para este proyecto podemos absolver de usar esta línea de código ya que no se enseñara nada en pantalla.

Figura 36. Creación del ejecutable con Python



FUENTE PROPIA (2023)

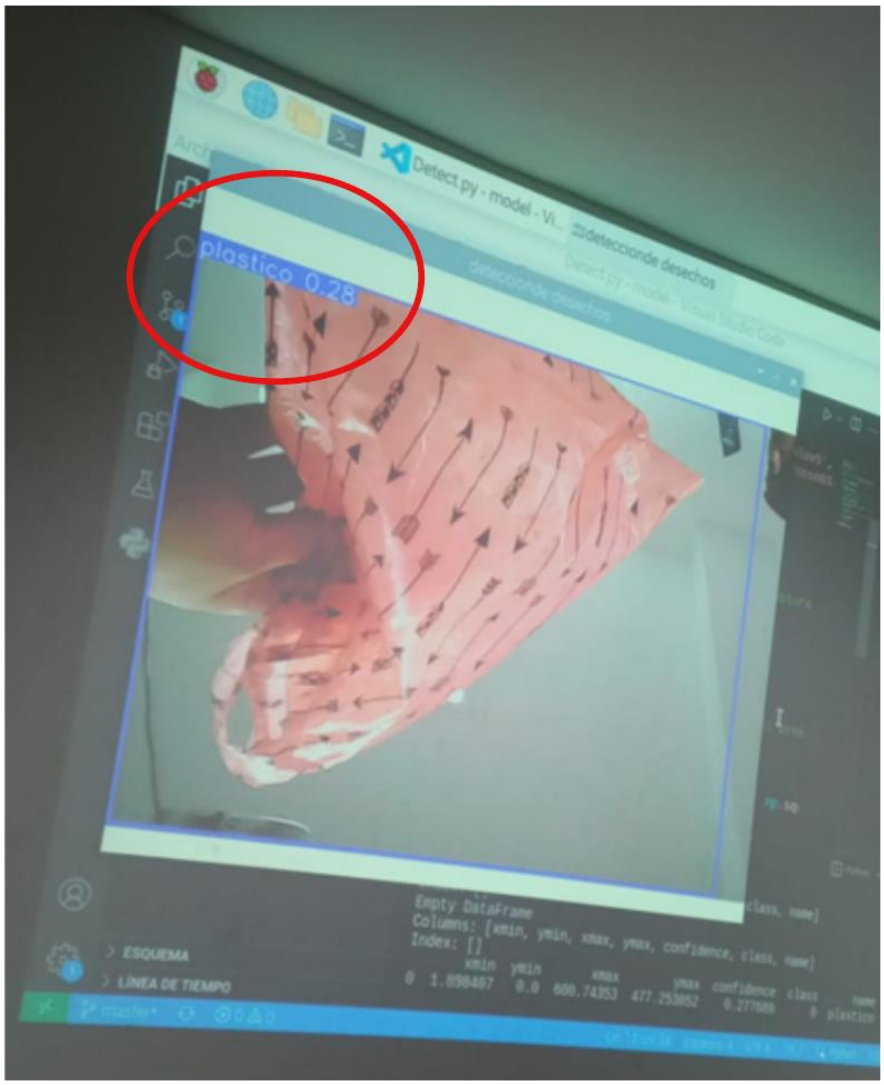
Con la finalidad de enseñar la funcionalidad del dispositivo de la parte mecánica del sistema en esta parte podemos apreciar la conexión del prototipo como se muestra en la figura 33, se aprecia como están todos los módulos antes mencionados como la cámara, una raspberry pi, una protoboard y una pantalla LCD, donde se incorpora la notificación necesaria para el usuario, tanto la pantalla como la cámara solo están conectadas por medio de los puertos USB de la raspberry pi 4. Ya que el código nos permite la interacción de estos componentes con el sistema para la detección de objetos en tiempo real, como se muestra en la figura 37.

Figura 37. Conexión del hardware (solo con visión artificial)

FUENTE PROPIA (2023)

Para terminar, se ejecuta el código y nos muestra en pantalla los resultados como se evidencia en una de las figuras anteriores, para este se ejecutó con un DataSet con pocos datos en total e usaron 100 imágenes y todas fueran de nuestra autoría ya que tomamos los desechos que estaban en el contenedor y los fotografiamos logrando una buena práctica, pero como podemos evidenciar a la hora de detectar los desechos no tiene una buena precisión y dice que está seguro en un 28% de que es plástico como se evidencia en la figura 38.

Figura 38. Resultado de la prueba



FUENTE PROPIA (2023)

3.11 RECEPCION DE SEÑALES DEL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

La construcción de este módulo se realiza teniendo en cuenta la arquitectura que se muestra en la figura 5 Y los diagramas de conexión mostrando el diseño detallado, con cada componente de tipo hardware antes utilizados, los cuales son listados en la siguiente tabla.

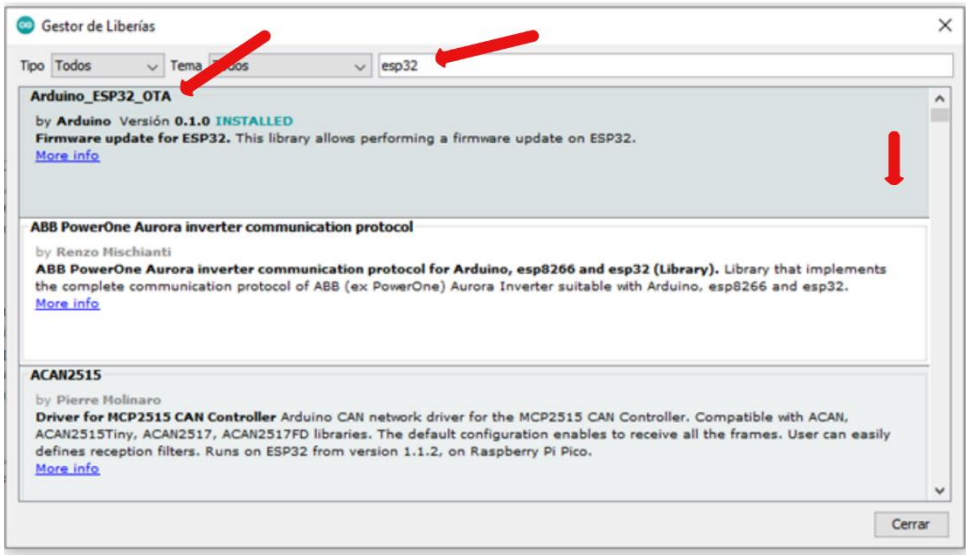
LISTA DE COMPONENTES HARDWARE
ESP32 DEVKIT V1
RASPBERRY PI 4B
PANTALLA LCD TOUCH
SENSOR HC-SR04
PROTOBOARD
CAMARA USB GENERICA

Tabla 8. Lista de componentes hardware

Lo primero que se debe hacer es instalar el entorno de desarrollo IDE de Arduino para lograr hacer la configuración de mejor manera. Tomando en cuenta que las librerías y configuraciones de la placa ESP32 no existen, por este motivo necesitamos instalar las librerías que nos permiten acceder a los módulos necesarios para que reconozca la placa como se muestra e la figura 39, para

ello accedemos al gestor de librerías y buscamos “ESP” instalamos la librería Arduino_ESP32_OTA.

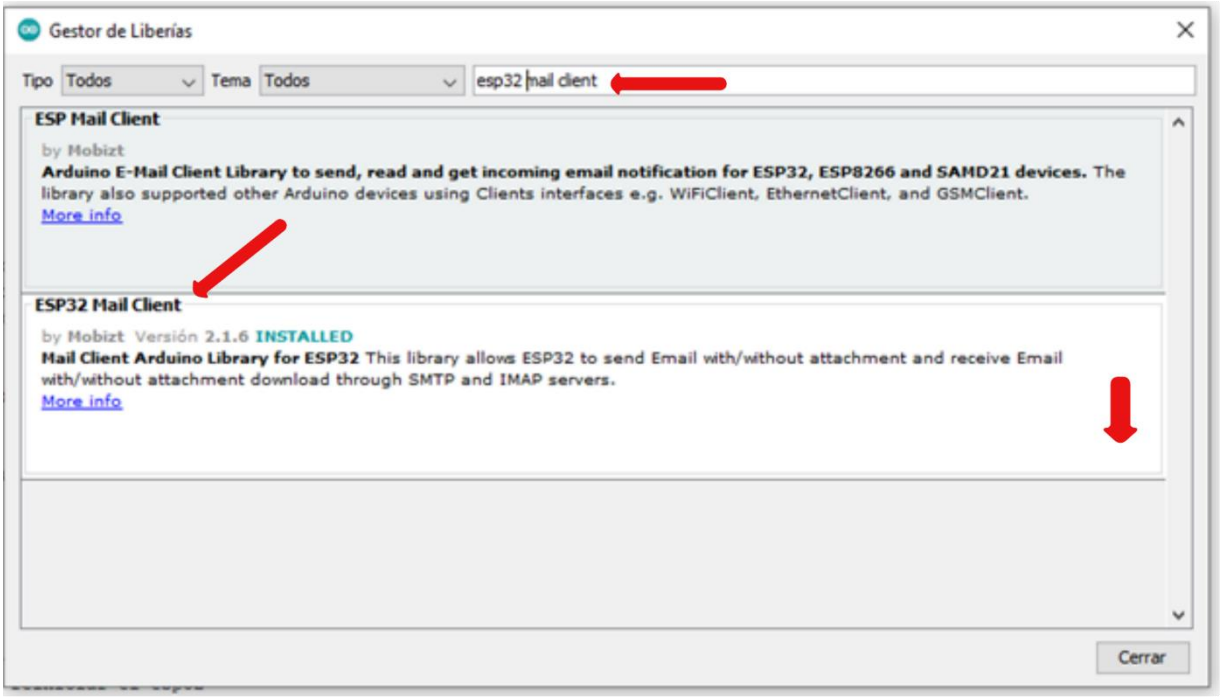
Figura 39. Instalación librería en ARDUINO IDE



FUENTE PROPIA (2023)

Una vez hecho este ´procedimiento, procedemos a instalar las librerías y dependencias necesarias para el funcionamiento de enviar una notificación por medio de un correo electrónico haciendo uso del protocolo de comunicación SMTP, procedemos a instalar las siguientes librerías “ESP32 Mail Client” en el gestor de librerías buscamos “esp32 mail client”, el cual nos permite la lectura y envió de correos por medio de la placa ESP32 como se enseña en la figura 40.

Figura 40. Instalación segunda librería en ARDUINO IDE



FUENTE PROPIA (2023)

En el siguiente paso se procede a codificar el sensor y el sistema para él envió de la notificación por medio de un correo electrónico, para ello lo primero que se hacer es impleméntenla algunos "include" que nos permiten usar las librerías antes mencionadas además de eso añadimos una librería nueva como es NewPing la cual nos permite usar las dependencias que requiere el sensor que próximamente estaremos mencionando y #define que son los pines que se están utilizando para el funcionamiento del sensor ultrasónico todo esto se verá reflejado en el recuadro 1, en el recuadro 2 de la figura 41, podemos observar la función que nos permite conectarnos a internet y como estamos haciendo uso de una placa que tiene acceso a internet, no es necesario el uso de la Liberia "Wifi.h" sino que accedemos con los parámetros y declarando las variables, en el recuadro 3 podemos apreciar como gestionamos los datos del sensor, los pines de conexión y hace uso de la

librería para poner en marcha el sensor, además de eso se observa como declaramos datos de tipo “SMTP”, en el último recuadro se define una variable entera que se inicializa en 0 y un void() que reseteara la esp32 hasta que la conexión Wifi este completa como se evidencia en la figura 41.

Figura 41. Código en Arduino IDE

```
SMTPCLIENT
#include "ESP32_MailClient.h"
#include <NewPing.h>
#define trig 12
#define echo 14                                   1

const char* ssid = "Lab_Fisica";
const char* password = "14bf1s1C4";               2

NewPing sonar(trig, echo);
SMTPData datosSMTP;                               3

int cuenta=0;
void(* Resetea) (void) = 0;                       4
```

FUENTE PROPIA (2023)

Para este apartado vamos a hacer uso de “void Setup()” el cual nos permite asginar las variables que son necesarias a lo largo de este codigo en el bloque 1 vamos a iniciar el codigo de manera que no interfiera con otros procesos del dispositivo en el cual vamos a hacer uso de Serial.begin y en el bloque 2 se inicia el led que va a encender mas adelante, vamos a crear un bloque de “while()”, el cual nos permite ejecutar un status en el que se encuentra la conexión a internet para lo cual anterirmente se creo el “void(* resetar)” el cual reinicia este evento hasta que la conexión sea correcta ponemos un condicional el cual rompa este evento si despues de 30 intentos no se conecta

cierre el programa y vuelva al evento “resetear()” y si cumple con todos los argumentos entonces imprima que “se conecto exitosamente” como se muestra en la figura 42.

Figura 42. Segunda parte codigo ARDUINO IDE

SMTPCLIENT §

1

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
```

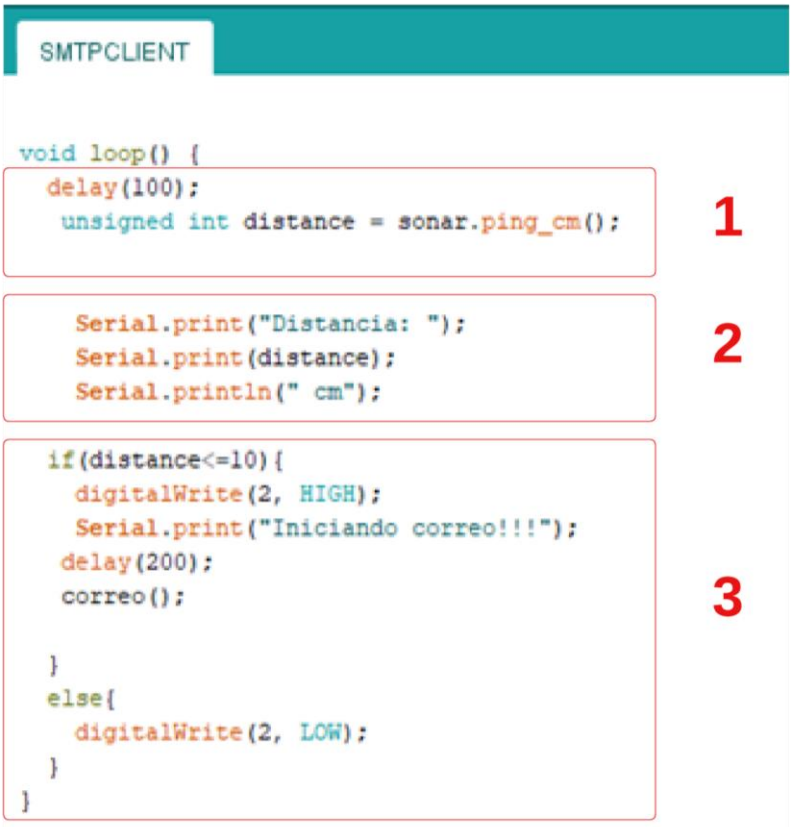
2

```
   pinMode(2, OUTPUT);
  Serial.println();
  Serial.print("Conectando");
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

    cuenta=cuenta+1;
    Serial.print("Intento: ");
    Serial.println(cuenta);
    if(cuenta==30){
      Serial.println("Reinciando x software al esp32!!!");
      Resetea();
      }
    delay(200);
  }
  Serial.println();
  Serial.println("Red Wifi conectada!!!");
  Serial.println();

}
```

FUENTE PROPIA (2023)

Tomando en cuenta las anteriores dependencias empezamos a trabajar en el “void loop()” que nos permite ejecutar codigos mientras la placa este habilidad, en el recuadro 1 podemos observar que se declara una variable a la cual se le asigna el valor del sonar a esta se le asignara el nombre de “distancia”, en el bloque numero 3 de la figura 43 podemos observar como vamos a poner en bucle que nos enseñe la distancia a la cua lse encuentran los objetos en tiempo real cada 100 mls y por ultimo en el bloque 3 asignamos una sentencia de dependencia osea que si se cumple con la condicion en este caso que la distancia sea “<=10 cm” haga la siguiente linea de codigo en este caso podemos ver que va a encender un led y va a correr el programa de “correo” y en caso tal de no cumplir con la condicion el led se apagara como se muestra en la figura 38.

Figura 43. Tercera parte Codigo Arduino IDE



FUENTE PROPIA (2023)

Ahora se inicia el “void correo()” el cual llamamos anteriormente pero no ejecutaba nada en este apartado se ve como llamando la variable “datosSMTP” creado en la figura 40, establecemos los parametros necesarios para enviar la notificacion que requiere la persona encargada del aseo y en caso de no ser posible enseñar una alerta que retorne el error concerniente como se muestra en a figura 44.

Figura 44. Datos a ingresar con ARDUINO IDE

SMTPCLIENT

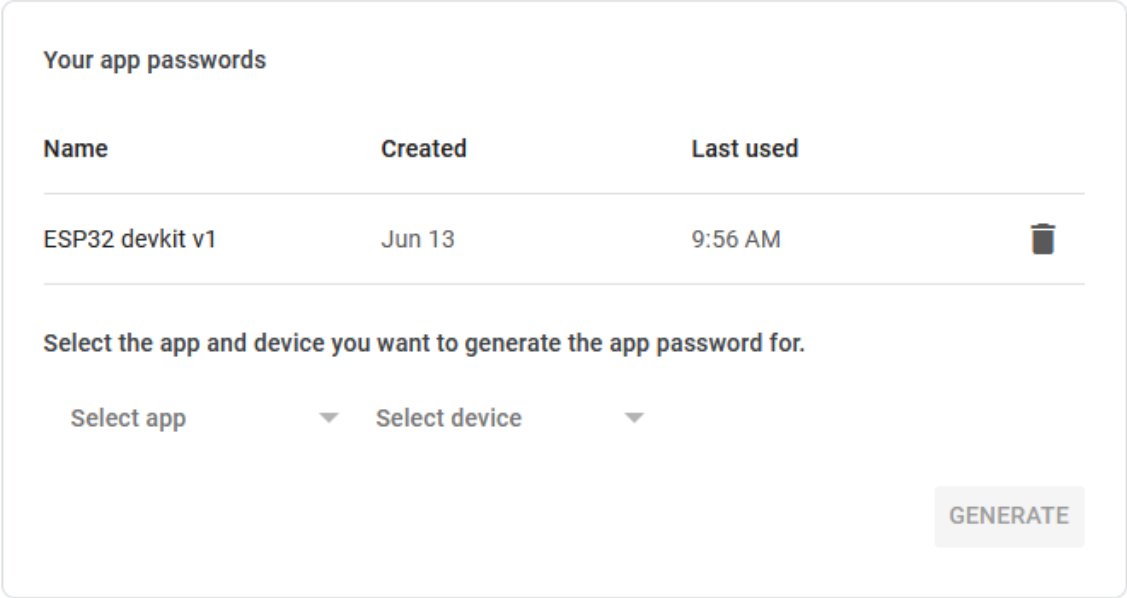
```
void correo(){

datosSMTP.setLogin("smtp.gmail.com", 465, "bryam.4536@gmail.com", "jwzvnwptuavporxa");

datosSMTP.setSender("Notificacion sobre contendor lleno ", "bryam.4536@gmail.com");

datosSMTP.setPriority("High");

datosSMTP.setSubject("Contendor 1 se encuentra lleno por favor retirar los residuos");

datosSMTP.setMessage("Este contendor no puede retener mas residuos, por favor retirarlos de manera inmediata", false);

datosSMTP.addRecipient("baordonez@unimayor.edu.co");

if (!MailClient.sendMail(datosSMTP))
Serial.println("Error enviando el correo, " + MailClient.smtpErrorReason());

datosSMTP.empty();
delay(10000);


}
```

FUENTE PROPIA (2023)

Para el final en la parte de instalacion enseñaremos la forma en que el sistema se conecta por medio de un protocolo de google con protocolo llamado “SMTP”, el cual ns permite crear una APP con credenciales las cuales su usan para hacer la comunicación entre el dispositivo y el servidor de google como se enseña en la figura 45, en este caso se pude apreciar en la primera linea de codigo

que hay en la figura 43 donde ponemos la credenciales junto con el numero del servidor que usatos en este caso “465” ya que estamos haciendo uso del protocolo SLL.

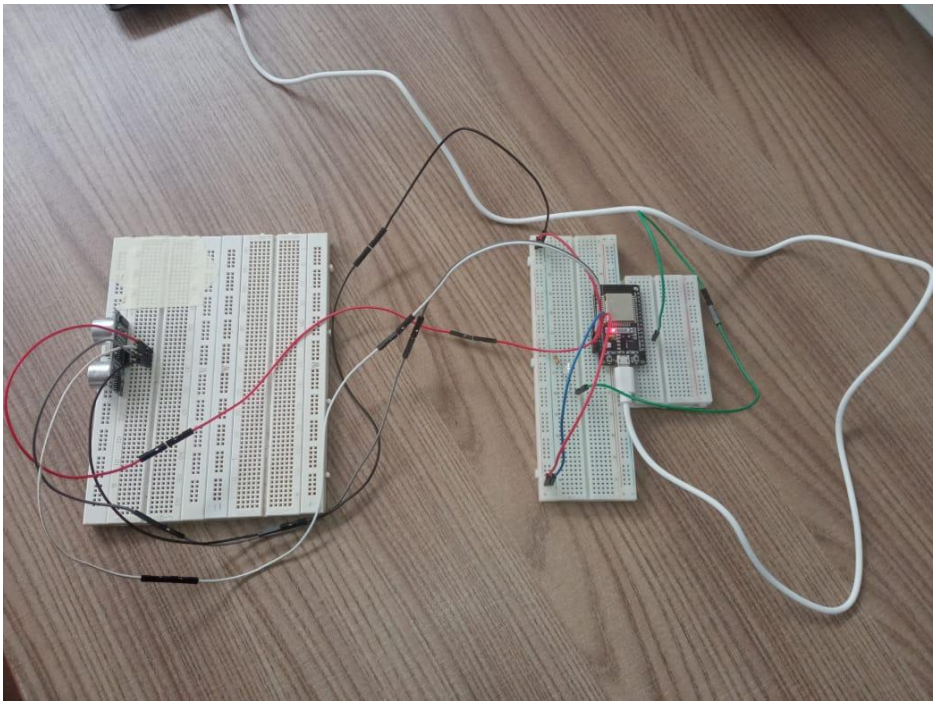
Figura 45. Protocolo de notificaion creado.



FUENTE PROPIA (2023)

Una vez terminada la parte de la instalación pasamos al montaje de prepación del prototipo para enviar una notificación por medio de un protocolo de comunicación como es “SMTP” como se muestra en la figura 41, conectamos el prototipo a VCC y GND, y a la ESP32 conectamos el TRIGGER y ECHO a los pines respectivamente 12 y 14, con la finalidad que el sensor HC-SR04 funcione y nos permite establecer el criterio de funcionamiento por medio de una señal de distancia y para ello se hizo la implementación de un LED que se enciende para saber que el sistema envió la notificación por medio de un correo electronico como se muestra en la figura 46.

Figura 46. Montaje hardware (envio de notificacion)



FUENTE PROPIA (2023)

4. CAPITULO 4

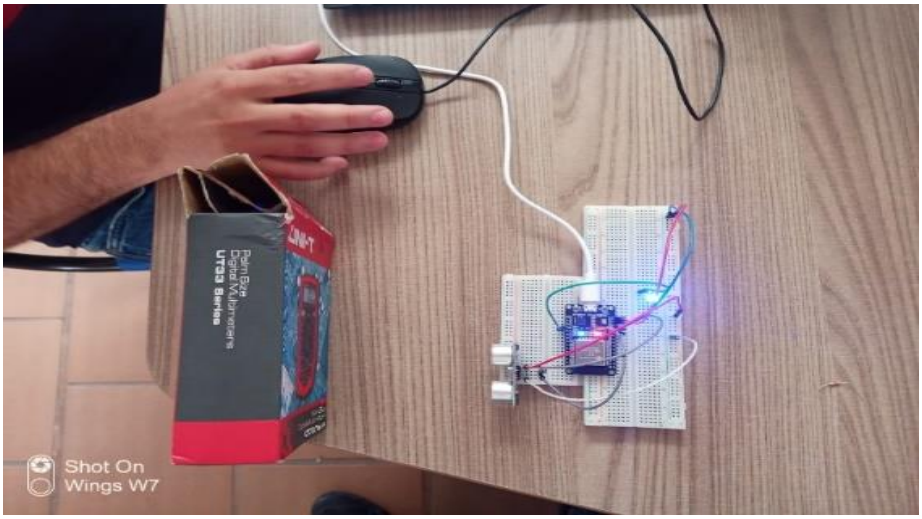
4.1 VERIFICACION DEL SISTEMA

En este apartado vamos a hacer las diferentes pruebas y la adaptación del prototipo en un contendor de reciclaje, en primera instancia se implementaros las pruebas de cada uno de los módulos como se muestra en los siguientes pasos y figuras.

4.2 SENSOR HC-SR04 CON ENVIO DE NOTIFICACION

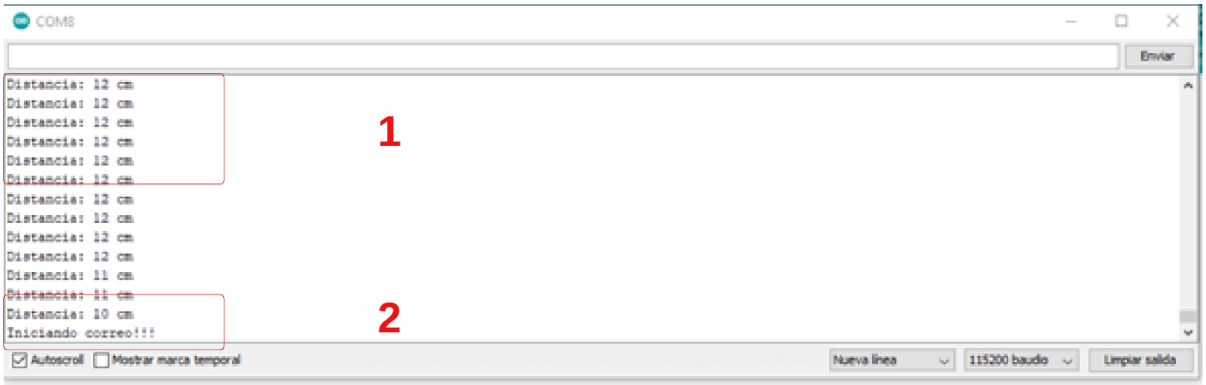
Lo primero es verificar que el sensor tenga un buen funcionamiento y que la conexión este correcta, en la figura 47, podemos apreciar como un led se enciende cuando un objeto se acerca a 10 o menos centímetros del sensor, una vez hecha esta verificación se aprecia en el monitor serie como nuestro dispositivo enseña la distancia en todo momento para así tener una mejor visualización de lo que está haciendo el prototipo como se muestra en la figura 48 En el recuadro 1.

Figura 47. Verificación del envió (parte hardware)



FUENTE PROPIA (2023)

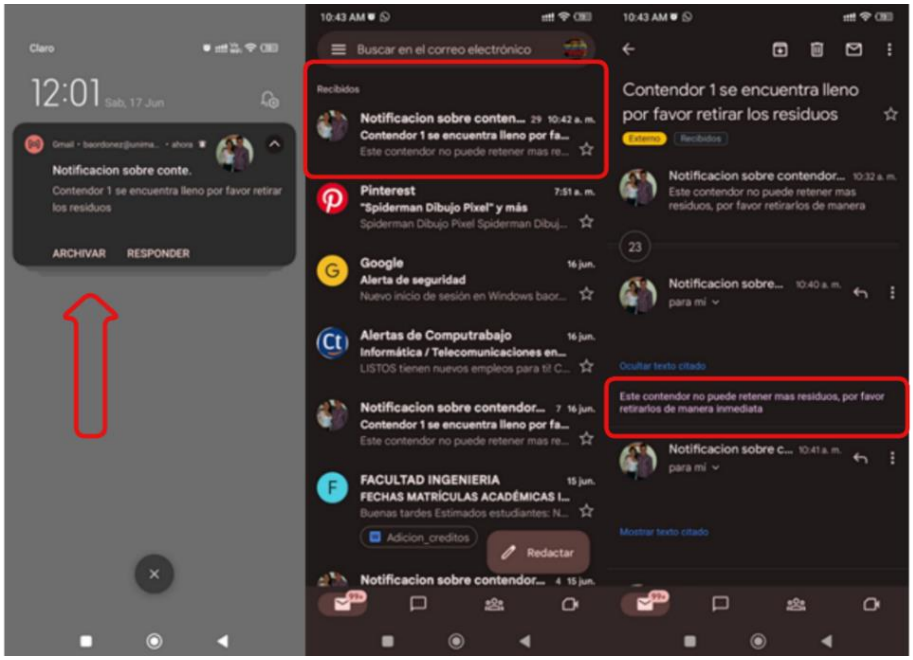
Figura 48. Verificación del envío (parte software)



FUENTE PROPIA (2023)

Una vez el objeto este a la distancia adecuada va a saltar una alerta de "iniciando correo" lo cual da a lugar que el sistema envié un correo a la persona encargada del aseo para notificarle que el contendor se encuentra lleno como se enseña en el recuadro 2, una vez terminada la acción pasaremos a detallar como se muestra la notificación en el dispositivo al cual le está llegando el mensaje lo primero sería una "notificación emergente", luego procederemos a abrir el correo para ver el contenido y lo podemos apreciar en la figura 49.

Figura 49. Verificacion en el movil



4.3 MODULO DE VISION ARTIFICIAL Y DETECCION DE OBJETOS

Este módulo es el más importante del funcionamiento del sistema ya que este permite la ejecución del prototipo, para determinar dónde van ubicados los diferentes desechos a tratar.

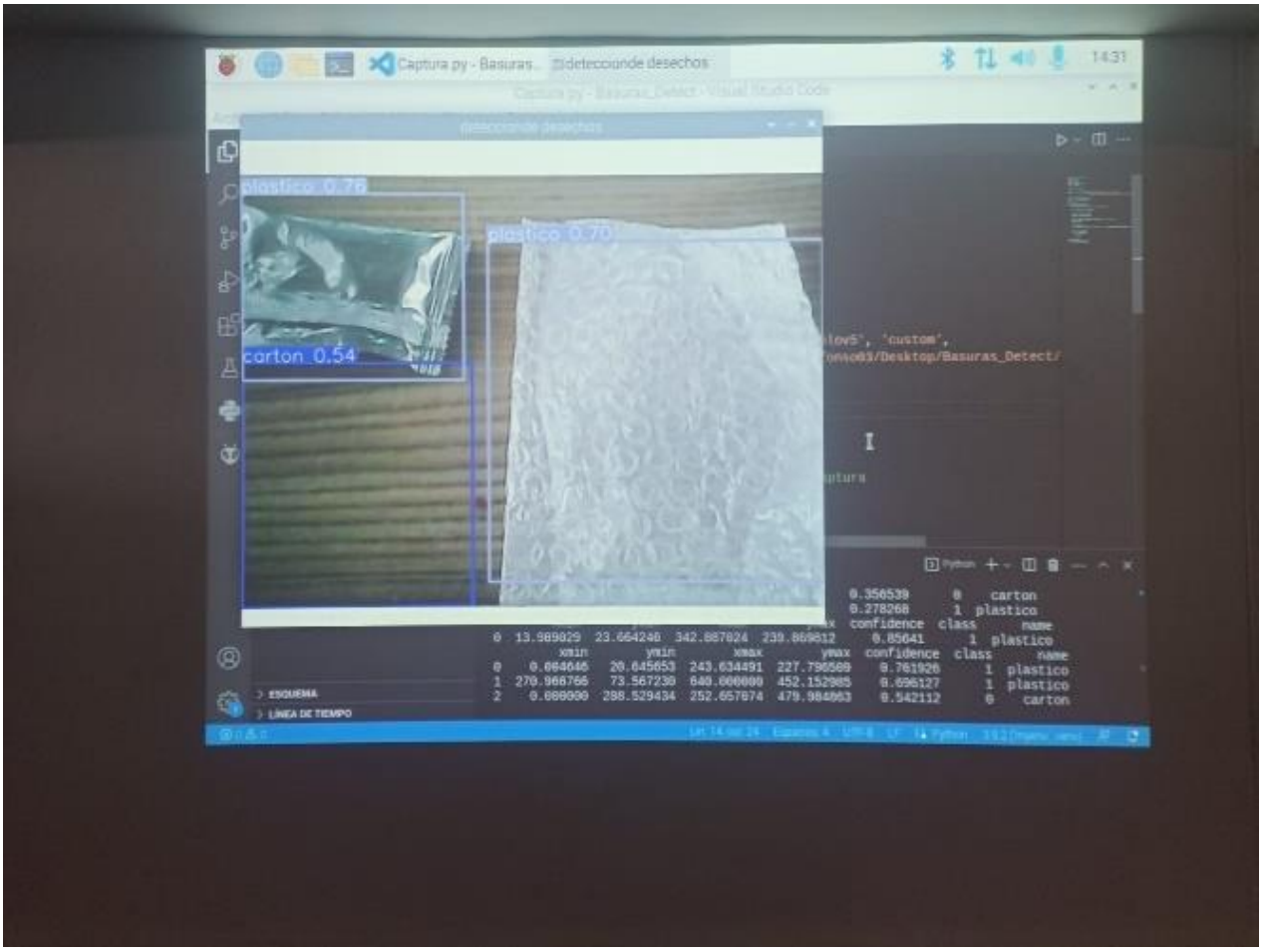
Lo primero es verificar que todos los módulos estén conectados, que tenga una adecuada alimentación de energía y que estén correctamente conectados en sus respectivos pines o conexiones USB como se muestra en la figura 50.

Figura 50. Prueba en pantalla LCD

FUENTE PROPIA (2023)

Lo segundo es verificar que la cámara este encendida, para ello damos a lugar la ejecución de la línea de código la cual permite activar la cámara; gracias a que se está haciendo uso de una cámara genérica tipo USB, por lo tanto no es requerido usar un módulo de cámara para permitir la ejecución del sistema gracias a la participación del protocolo YoloV5, logrando verificar que el sistema de la cámara está funcionando y que aparezca en pantalla la detección de objetos con un recuadro que especifique cual es el objeto, como se muestra en la figura 51.

Figura 51. Verificación de la detección



FUENTE PROPIA (2023)

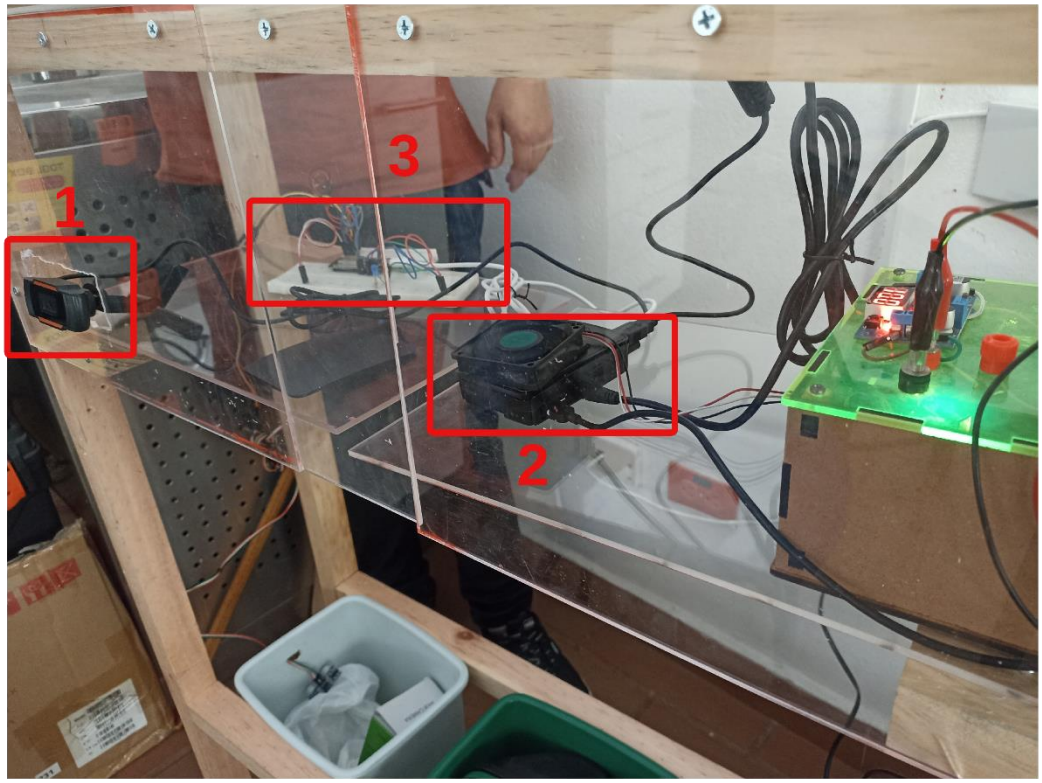
Una vez verificado el correcto funcionamiento pasamos a la adaptación del sistema a un lugar de reciclaje de la universidad como lo podemos apreciar en la figura 52 Adaptamos el sensor en una ubicación que no interfiera con el funcionamiento del sistema como se aprecia en el recuadro.

Figura 52. Implementación hardware del sensor ultrasónico

FUENTE PROPIA (2023)

Ya hecho este paso, pasamos a enseñar el montaje del sistema en general para ellos vamos a realizar una lectura de la arquitectura y el montaje como lo podemos apreciar en la figura 49, como se ve existen todos los módulos y la conexiones de estos mismos como podemos ver en el recuadro 1 está el módulo de la cámara se le dio ese lugar para optimizar el uso del sistema, luego podemos ver el recuadro 2 donde está ubicada la raspberry pi la cual es la que permite la óptima gestión del sistema y por último el recuadro 3 donde está ubicada la ESP32 unida al sensor para él envió de la notificación vía correo electrónico, como se muestra en la figura 53.

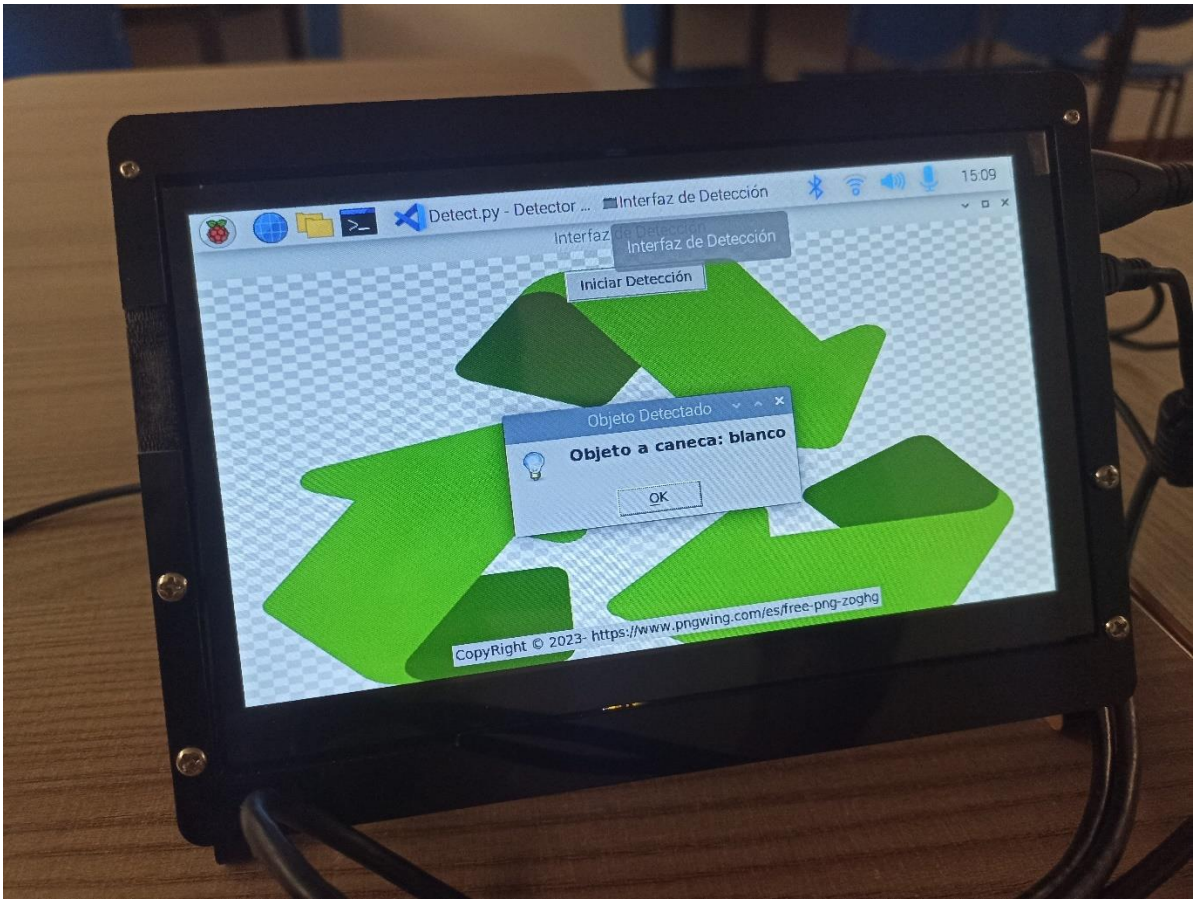
Figura 53. Montaje Hardware para pruebas



FUENTE PROPIA (2023)

Una vez revisado el dispositivo sus configuraciones y conexiones procedemos a hacer unas pruebas verificando el funcionamiento del sistema como podemos apreciar en la figura 54, en el momento que detecta un objeto, se muestra en una pantalla LCD la notificación del color del contenedor, como se muestra en el recuadro para determinar en cuál de los contenedores va ubicado ese residuo en concreto como se enseña en la misma figura, pero en el recuadro.

Figura 54. Primera prueba (identificación deposito blanco)



FUENTE PROPIA (2023)

Una vez hecha la muestra de reconocimiento pasamos a probar el sistema de notificación como podemos apreciar en la figura 55 Llenamos en contendor para simular cuando este tenga una distancia apropiada para el hacer uso del software que se hizo a la medida para que ejecute esta acción y proceda a enviar la notificación como se enseñó anteriormente.

Figura 55. Prueba con el sensor ultrasónico

FUENTE PROPIA (2023)

5. CAPITULO 5

5.1 CONCLUSIONES

Como apoyo en la actividad de reciclaje en la Institución Universitaria Colegio Mayor Del Cauca, se desarrolló un prototipo de recolección eficiente que tomó en consideración las distintas estructuras y las variaciones en la iluminación. Dado que se trata de un prototipo que depende de la visión artificial para su funcionamiento, es importante mencionar que las fluctuaciones en la luz pueden afectar el rendimiento del dispositivo.

A pesar de que los contenedores de reciclaje de la institución a menudo se utilizan como simples basureros en lugar de su propósito original, se implementó una solución efectiva para la detección en tiempo real. Esto se logró mediante el uso de protocolos de comunicación conocidos como YoloV5. Sin embargo, es importante destacar que, debido a las limitaciones de hardware, la detección en tiempo real puede experimentar cierta lentitud en su funcionamiento.

No obstante, es crucial reconocer que el sistema sigue siendo completamente funcional y contribuye de manera positiva a su objetivo principal de detectar residuos en tiempo real. Además, envía notificaciones a la persona encargada del mantenimiento y limpieza del área. Este sistema de notificación continuará enviando alertas hasta que los residuos sean retirados del contenedor. Esta función garantiza que el sistema sea monitoreado de manera efectiva y evita que se ignore su estado.

En términos de usabilidad, el sistema se ha diseñado de manera que sea amigable para el usuario. No se requiere capacitación especial ni investigación adicional para su uso. El proceso es simple: basta con que la persona sostenga el residuo frente a la cámara, y el sistema le indicará dónde debe depositarlo. Esta simplicidad garantiza una interacción agradable para el usuario.

REFERENCIAS

ACTNOW. (agosto de 20 de 2022). *Naciones Unidas*. Obtenido de ONU web site: https://www.un.org/es/actnow/facts-and-figures

Andrée Montoya, L. B. (2020). RecyGlass, A Low-cost System for Recycling Glass Bottles in a Distinctive Way. *licence by IOP Publishing Ltd* , 1-9.

Ashya Chettri, S. S. (2019). *Design and Development of Semi-Automatic Electrical Incinerator Using Arduino.* Jaipur, India: IEEE.

Borrella, B. (18 de 09 de 2022). *universidad complutense madrid.* Obtenido de doota coomplutense: https://eprints.ucm.es/id/eprint/74914/1/beatriz_borrella_introduction.pdf

Colombia, G. (09 de Junio de 2019). *upme.gov.co.* Obtenido de gobernación Colombia: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm

Dhiraj Sunehra, K. P. (2021). Implementation of an Automatic Waste Segregator System using Arduino Uno. *2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)* (págs. 1-9). Maharashtra, India : IEEE.

gobernación, D. (21 de diciembre de 2015). *DNP Gobernación Colombia* . Obtenido de dnp.gov.co: https://2022.dnp.gov.co/Paginas/Rellenos-sanitarios-de-321-municipios-colapsar%C3%A1n-en-cinco-a%C3%B1os,-advierte-el-DNP--.aspx

Kaota, K. (2012). 909 Curriculum development for robotics education using microcontroller board Arduino. *the Japan society of mechanichal engineers* (págs. 319-320). Tokyo, Shibaura: JStage.

Ltd., R. P. (12 de Enero de 2021). *The Adopted Trademarks HDMI, HDMI High-Definition Multimedia Interface, and the HDMI Logo are trademarks or.* Obtenido de Manuals plus: https://manuals.plus/m/ce6cc7107a28b3d5b6c944129b2fc7b4ed80ba77dcd9d2693bd9040a63bb768e_optim.pdf

Masato Ishikawa, T. K. (2022). Rapid Prototyping for System Control Experiment using Arduino/Processing. *The Japan Society of Mechanical Engineers* (págs. 245-250). Tokio, Japon: JStage.

MinVivienda. (25 de noviembre de 2014). *mnisterio de vivenda Colombia.* Obtenido de minvivienda sitio web: https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2020-08/resolucion-754-de-2014.pdf

MkDocs, M. f. (19 de octubre de 2023). *© 2023 Ultralytics Inc. All rights reserved.* Obtenido de Ultralytics Sitio Oficial: https://docs.ultralytics.com/yolov5/

Nurisha Hania Kamarudin, A. A. (2021). Development of Automatic Waste Segregator with Monitoring System. *2019 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)* (págs. 190-195). Yogyakarta, Indonesia : IEEE.

Ohyama, R.-i. (2021). A Study on Development of Teaching Materials for Learning IoT Implementation. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials* (págs. 367-372). Japan: JStage.

Pineda, J. (04 de febrero de 2022). *enColombia* . Obtenido de enColombia sitio web: https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/contenedores-de-reciclaje/

Ramos, E. V. (2014). *glosario de reciclaje urbano.* España: General de Ediciones de Arquitectura.

Sazali Mahat, S. H. (19 de 09 de 2018). Automatic Metal Waste Separator System In Malaysia. *Automatic Metal Waste Separator System In Malaysia*, págs. 80-90.

Sopelana Zuazo, B. (2018). Detector de materiales para reciclaje automático. *Trabajos Académicos-Facultad de Ciencia y Tecnología* (págs. 1-42). Pais Vasco, España: ADDI.

Webmaster. (22 de mayo de 2019). *Unimayor Institucion univesitaria*. Obtenido de Unimayor sitio web educativa: https://unimayor.edu.co/web/noticias/3023-conmemoracion-del-dia-mundial-del-reciclaje

Webmaster. (15 de Mayo de 2020). *Unimayor Institucion universitaria*. Obtenido de Unimayor sitio web educativo: https://unimayor.edu.co/web/noticias/3433-con-resultados-ambientales-unimayor-conmemora-dia-mundial-del-reciclaje