

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE UN CONTENEDOR MUNICIPAL AUTOMÁTICO
MEDIANTE RED DE SENSORES CON MONITOREO
INALÁMBRICO PARA LA MEJORA DEL PROCESO DE
SELECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, CALLAO 2022”**

AUTOR: Dr. Santiago Linder Rubiños Jimenez

APOYO EXTERNO: Ing. Carlos Andres Canales Escalante

Ing. Dennis Huaman Yrigoin

PERSONAL DE APOYO: Zoila María Pebes Paucar de Carmen

PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de febrero de 2022 al 31 de enero de 2023

Resolución de aprobación N.º 148-2022R

Callao, 2023

DEDICATORIA

A Dios, por ser el que guía mis pasos cada día, a mi Madre e hijas, por su constante apoyo para que luche por mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme seguir y lograr mis objetivos, a la Universidad Nacional del Callao por ser la que me enseñó a trazar metas y gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Descripción de la realidad problemática	14
1.2. Formulación del problema	14
1.2.1. Problema Principal.....	14
1.2.2. Problemas Específicos	14
1.3. Objetivo	15
1.3.1. Objetivo General.....	15
1.3.2. Objetivo Especifico	15
1.4. Justificación de la investigación	15
1.4.1. Justificación Teórica	15
1.4.2. Justificación Tecnológica	15
1.4.3. Justificación Metodológica	16
1.4.4. Justificación Social.....	16

1.5. Delimitantes de la investigación	17
II. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes del Estudio.....	18
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	18
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	40
3.1. Hipótesis	40
3.1.1. Hipótesis Principal	40
3.1.2. Hipótesis Específica.....	40
3.2. Definición conceptual de variables.....	40
3.3. Operacionalización de variables	41
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	42
4.1. Tipo y Diseño de Investigación	42
4.2. Método de la investigación:	42
4.2.1. Diseño estructural del prototipo del contenedor.....	42
4.2.2. Diseño lógico de sistema de control inteligente	44
4.2.3. Implementación de los sensores de proximidad	45
4.2.4. Implementación del monitoreo mediante indicación de estado contenedor lleno	47
4.2.5. Envío inalámbrico de la alerta con la ubicación del GPS.....	49
4.2.6. Pruebas de reconocimiento de imagen.....	50

4.2.7. Pruebas de conectividad y monitoreo remoto del contenedor	52
4.2.8. Pruebas y comparativas con recolectores municipales convencionales 53	
4.3. Población y muestra:	54
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado	54
4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	55
4.6. Análisis y procesamiento de datos:	55
V. RESULTADOS	56
5.1. Resultados descriptivos	56
5.2. Resultados inferenciales	57
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	59
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.	59
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	59
6.3. Responsabilidad ética.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS.....	65
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño estructural del sistema	18
Figura 2. Grado de aceptación de basurero inteligente	19
Figura 3. Vista frontal del contenedor	20
Figura 4. Esquema de red de contenedores y sus comunicaciones	21
Figura 5. Esquema general del prototipo	22
Figura 6. Diagrama de flujo del sistema	23
Figura 7. Estructura interna de un PLC LOGO” [6]	24
Figura 8. Modelo de electroválvula” [7]	25
Figura 9. Tipos de Válvula.....	26
Figura 10. Transceptor LoRa RFM95W de 915 MHz	30
Figura 11. Contenedores municipales actuales	42
Figura 12. Diseño estructural del contenedor	43
Figura 13. Principio de funcionamiento del sensor HC-SR04	43
Figura 14. Ubicación de cámara	44
Figura 15. Sensor HC-SR04	45
Figura 16. Sensor HC-SR04 conectado al Arduino-UNO.....	45
Figura 17. SIM 800L con antena de 3 dBi.....	47
Figura 18. Circuito de potencia para el SIM800L	47

Figura 19. Diagrama de detección de objetos.....	51
Figura 20. Sensor de cámara IMX477	51
Figura 21. Diagrama de bloques del conversor A/D.....	52
Figura 22. Localización de contenedores.....	54
Figura 23. Resultados de medición del Sensor HC-SR04	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo dispositivos controladores.....	26
Tabla 2. Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas.....	29
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los tipos de antena analizados	32
Tabla 4. Análisis técnico comparativo de Gateway LoRa	34
Tabla 5. Puntaje y valores para cada modelo de Gateway LoRaWAN	36
Tabla 6. Descripción operacional de variables.....	41
Tabla 7. Pruebas de funcionamiento del aplicativo.....	53
Tabla 8. Resultados de % errores en botellas de vidrio	56
Tabla 9. Resultados de % errores en plástico.....	56
Tabla 10. Resultados de % errores en cartón.....	56
Tabla 11. Resultados de % errores en papel	57
Tabla 12. Porcentaje de error de la medición del sensor de proximidad.....	57

RESUMEN

El presente informe de investigación muestra el trabajo realizado para la prueba de un prototipo de contenedor de residuos sólidos que sirve como sistema electrónico seleccionador de residuos, con ello se busca realizar una disminución de la carga laboral que involucra la separación de residuos para su reciclaje. El modelo propuesto se centra en tecnología de bajo costo, como microcontroladores comerciales Arduino, motores, componentes de Arduino y cámara para el tratamiento de imágenes. Los resultados obtenidos fueron óptimos, mostrando que el contenedor tiene más confiabilidad para la recolección de desechos en su correcto contenedor, mostró un promedio de 5.234% a nivel general frente al 22.632% que arroja el contenedor convencional.

Palabras clave: contenedor, electrónico, microcontroladores, residuos

ABSTRACT

This research report shows the work done for the testing of a prototype of a solid waste container that serves as an electronic waste sorting system, thereby seeking to reduce the workload involved in the separation of waste for recycling. The proposed model focuses on low-cost technology, such as commercial Arduino microcontrollers, motors, Arduino components and camera for image processing. The results obtained were optimal, showing that the container has more reliability for waste collection in its correct container, it showed an average of 5.234% overall versus 22.632% that throws the conventional container.

Key words: container, electronic, microcontrollers, waste.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como fin, el planteamiento de la solución de una realidad que día a día afecta a la sociedad actual en la que vivimos, específicamente en el entorno urbano, donde la población citadina crece año a año debido a muchas veces el centralismo. El ingente crecimiento de población trae consigo el aumento de producción de residuos de diversas categorías, entre ellos, los residuos sólidos. Pese a que existen planes de gestión de reciclaje para evitar la contaminación masiva en las ciudades y esta misma repercute en el medio ambiente colindante, no es suficiente puesto que la cultura ambiental de concientización no es un factor avanzado en las sociedades actuales, tal es el caso de Perú.

De esta forma se propone el diseño de un sistema que mejore la gestión de recolección y selección de residuos sólidos, sean de naturaleza orgánica o inorgánica, sistema que estará implementado con sensores y actuadores en un contenedor de gran escala con el propósito de realizar una selección por clases: plástico, vidrio, papel, residuos orgánicos. Adicionalmente, el sistema estará controlado con PLC LOGO para el control de las electroválvulas de cada contenedor parcial.

La estructura del proyecto está compuesta por la problemática actual respecto al tema propuesto, una comparativa de la realidad de Perú y a nivel global. En el capítulo II, se exponen trabajos similares al propuesto, sean de naturaleza nacional o internacional, marco teórico y marco conceptual. En el capítulo III, se definen las variables involucradas en la investigación a realizar, así como la forma en la que las mismas se relacionan. En el capítulo IV, se presenta el diseño metodológico y las consideraciones a seguir para el estudio del proyecto y su impacto

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La ingente masa poblacional es una realidad latente en muchos países, el motivo es, la migración de personas de diversas regiones del país al foco central que es la capital, con el fin de obtener mejores oportunidades para vivir, así como mejores calidades de vida respecto a los servicios que puede ofrecer el centralismo. La gestión de residuos en Perú, es un problema escalable, es muy común observar en las calles de la capital central de la misma, cúmulos de desechos causados por la mano del hombre, problema ligado de la realidad expuesta líneas arriba. Los 30 millones de habitantes de Perú generan un promedio de 21.000 toneladas de residuos municipales cada día. Esto equivale a 0,8 kilogramos de residuos por persona al día [1]. La mala gestión y escasa promoción de la cultura de concientización ambiental, no suponen alicientes para incentivar la mejora de la logística de recolección y selección de residuos según su naturaleza con el fin de generar el reciclaje e impulsar la reutilización de recursos que tardan muchos años en renovarse, mismos que representan una potencial amenaza para las especies animales y vegetales, así como el mismo ecosistema en el que coexiste el ser humano con el medio natural.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema Principal

PG: ¿Es posible diseñar un contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico capaz de mejorar el proceso de selección de residuos sólidos, Callao 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

PE1: ¿Es posible realizar el diseño de una etapa con sensores idóneos para la distinción de diversas clases de desechos?

PE2: ¿Es posible realizar el diseño de la etapa de monitoreo inalámbrico para la generación de alertas?

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo General

OG: Diseñar un contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico capaz de mejorar el proceso de selección de residuos sólidos, Callao 2022

1.3.2. Objetivo Especifico

OE1: Realizar el diseño de una etapa con sensores idóneos para la distinción de diversas clases de desechos

OE2: Realizar el diseño de la etapa de monitoreo inalámbrico logrará la generación de alertas

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación Teórica

Según Torres Bernal: “Cuando en una investigación se busca mostrar las soluciones de un modelo, está haciéndose una justificación teórica.”

De acuerdo con los objetivos de estudio, su resultado permite el aprendizaje de sensores y actuadores especializados, en la elaboración del diseño de los sistemas automatizados.

1.4.2. Justificación Tecnológica

Según Torres Bernal: “Se considera que una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos, propone estrategias que al aplicarse contribuirían a resolverlo” [1].

Los resultados del proyecto de investigación posibilitan la elaboración de técnicas de enseñanza y aprendizaje para las teóricas de sensores y control industrial

1.4.3. Justificación Metodológica

Según Kenji Huaman: “Los sistemas de riego agrícola, que generalmente se utilizan en el campo de nuestra región y país, son en gran mayoría de control manual lo que puede provocar desperdicio de agua y energía eléctrica, sin mencionar que el riego inadecuado no alcanza el nivel óptimo de humedad. El uso eficiente del agua para el riego agrícola se puede dar con la automatización de los sistemas de irrigación” [2].

El presente proyecto tiene un enfoque de mejorar la gestión de recolección y selección de residuos sólidos con el fin de refinar el reciclaje y así reducir costos de no solo inversión sino en pérdidas naturales por contaminación de suelos y mares

1.4.4. Justificación Social

Según R. Blas y O. Martell: “El proyecto se justifica socialmente porque la ejecución de este moderno Sistema de Riego proporcionará una alternativa de solución ante deficiente método de riego utilizado como es el Riego Tradicional, en condiciones de salubridad con un Impacto ambiental sostenible y de esa manera beneficiará en tema agrícola y económico” [3].

El incentivo ambiental generada por el proyecto, busca influir de forma positiva en el factor social del ciudadano, debido a que muchas veces por falta de conocimiento no conoce el alcance del daño ambiental causado por la gran cantidad de residuos mal gestionados.

1.5. Delimitantes de la investigación

La investigación se limita a las pruebas en un solo distrito, lugar de residencia de la mayoría de integrantes del equipo debido a la actual pandemia y aun latentes cuidados respecto a la propagación de las variantes del Sars-Cov2

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Estudio

En el presente apartado se muestran los antecedentes relativos al estudio a realizar, los cuales aportan evidencias de la posibilidad de proseguir con la investigación.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

C. Diaz Colorado y J. Caldas Vega (2018), en su tesis de grado para ingeniería electrónica y de telecomunicaciones de la Universidad Católica de Colombia titulada “Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico”, tuvieron como objetivo general el desarrollo del sistema, así como la identificación de sensores de diversos tipos respecto a tecnología y el diseño e implementación de un sistema de control.

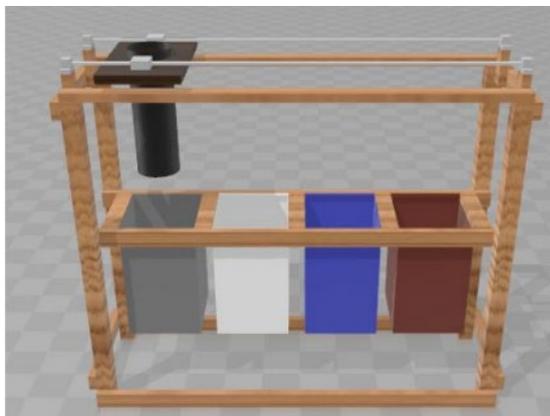


Figura 1. Diseño estructural del sistema

La prueba del prototipo fue realizada en estado de reposo y operación, también se realizaron testeos de los componentes por medio del funcionamiento en rutinas. Los resultados obtenidos a partir de 10 muestras mostraron una eficacia del 87% del sistema en general, de los cuales el vidrio y el papel fueron los resultados de menor efectividad al momento de la medición [5].

C. Mazi Melara y W. Lopez Guardado (2018), en su trabajo de graduación para optar el título de técnico en ingeniería de hardware de la Facultad de Informática y Ciencias Aplicadas Técnico en Ingeniería de Hardware de la Universidad Tecnológica de El Salvador de la república de El Salvador, plantearon el diseño de un proyecto de sostenibilidad ambiental esquematizado en un basurero inteligente con el fin de educar a las personas del centro educativo “Nicolás J. Bran”. La tecnología utilizada fue libre en diseño conformada por circuitería electrónica básica, así como sensor ultrasónico y microcontrolador Arduino. El funcionamiento del basurero inteligente fue capaz de cerrar la compuerta del recolector a fin que se evite el desorden de desechos y suciedad este hará que bloquee la compuerta para que ya no puedan introducir más basura.

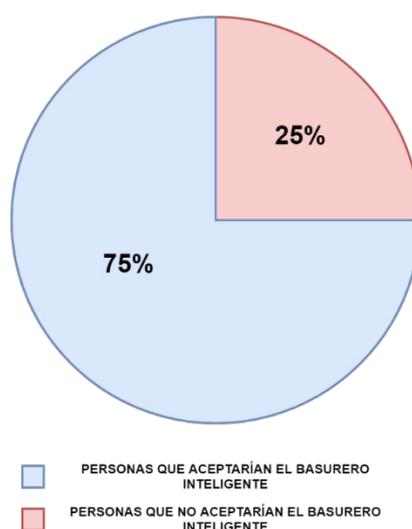


Figura 2. Grado de aceptación de basurero inteligente

Entre la población entrevistados se encontró que el 75% tenía entre 12 y 16 años, seguidos por un 25% en el rango de 30 a 45 años. La mayor parte de los entrevistados eligieron que si cambiarían el basurero 75% y el otro 25% no cambiarían el basurero como se muestra [6].

C. Satuquinga Congacha (2021), en su trabajo de titulación por modalidad de proyecto de investigación para la obtención del título de ingeniero en

electrónica y comunicaciones de Universidad Técnica de Ambato, titulado “Sistema inteligente de reciclaje OPEN BOT”, tuvo como objetivo reducir los contaminantes por tereftalato de polietileno (PET) en el medio ambiente, evaluando los envases PET por medio de un sistema de código abierto implementado con Raspberry Pi y programado con Python.

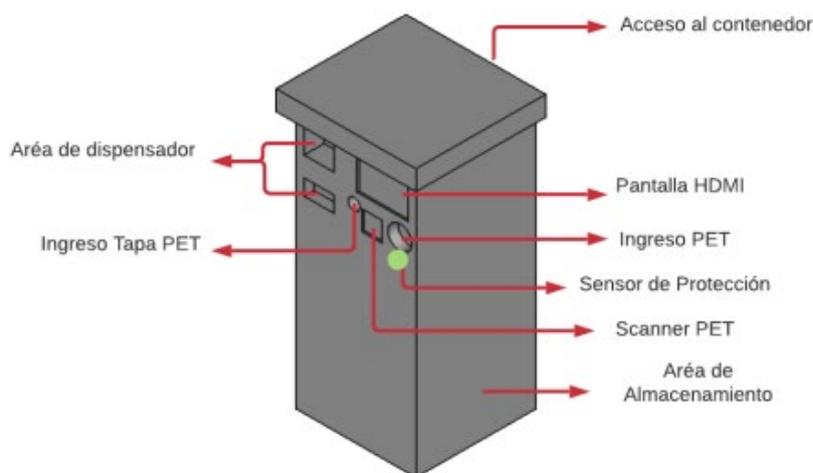


Figura 3. Vista frontal del contenedor

Los resultados de la investigación de Satuquina fueron favorables para las marcas registradas en el dispositivo, no obstante, no resultó provechoso para nuevos envases de botellas plásticas [7]

2.1.2. Antecedentes nacionales

M. Cavalier (2019), en su trabajo de suficiencia profesional para optar el título profesional de ingeniero electrónico y telecomunicaciones de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur del Perú, la cual tuvo como propósito, mejorar la gestión residuos de Villa el Salvador, potenciando los siguientes aspectos: motivar a las personas a reciclar en lo que he denominado “Ciudades inteligentes para personas inteligentes”, con el fin de obtener indicadores reales. Se realizaron las pruebas necesarias de distancia entre cada nodo y el Gateway, realizando una topología en estrella donde cada nodo envía información aproximada en un minuto y medio (90 sg). Fueron implementados

en un cultivo agrícola en el municipio de Sibaté (Cundinamarca), donde el cultivo cuenta con una extensión de tres kilómetros de área aproximada. Los puntos que se tuvieron en cuenta fueron distancia en línea de vista, y en no línea de vista. Debido a que en el terreno siempre se obtuvo 48 comunicación entre los nodos y el Gateway en línea de vista con la distancia máxima de 3 kilómetros, se decidió implementar el prototipo en la ciudad de Bogotá para conocer los máximos valores que puede llegar a alcanzar esta tecnología con respecto a la distancia [8].

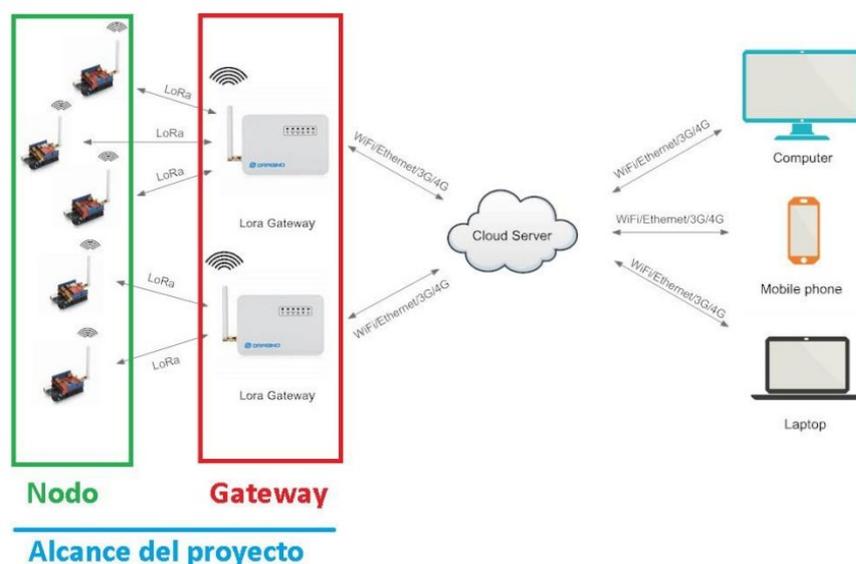


Figura 4. Esquema de red de contenedores y sus comunicaciones

R. Gonzales (2021), en la tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Redes y Comunicaciones de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) del Perú, muestra la propuesta de una red de contenedores inteligentes ubicados dentro de la urbanización San Diego Vipol y el diseño de un prototipo que tenga la capacidad de monitorear en línea el nivel de basura y determinar la ubicación de cada contenedor. Para ello se incorporaron cinco nodos inteligentes denominados nodo final, Gateway, servidor de Red, aplicación web y el cliente que supervisara vía web las variables físicas y geográficas de cada contenedor. Asimismo, se utiliza el protocolo de comunicación MQTT para la comunicación entre los diversos nodos. El nodo final

procesa los datos para ser enviados a través de la red inalámbrica de tipo estrella mediante el transceptor LoRa RFM95 de 915 MHz. Este a su vez se comunica con el nodo Gateway para enviar los datos a través de Internet mediante una conexión Wi-Fi. Todos los datos son recibidos y almacenados en el servidor de red, para ello se usó un servidor privado virtual (VPS) de la plataforma de Amazon Web Services (AWS).



Figura 5. Esquema general del prototipo

El resultado final de este proyecto de investigación es el prototipo de un contenedor de residuos sólidos inteligente, el cual tiene instalado un módulo GPS que controla la ubicación y un sensor ultrasonido que mide el nivel de llenado. En la Figura 90 se muestra el diseño del dispositivo que será ubicado dentro de un contenedor de residuos sólidos. Este dispositivo se compone de un sensor ultrasónico, un módulo GPS, un módulo ESP32 con su batería recargable, un Transceptor LoRa RFM95 con una antena helicoidal y panel solar para poder cargar las baterías de litio. En la Figura 91 se muestra los componentes ubicados dentro de la caja protectora [9].

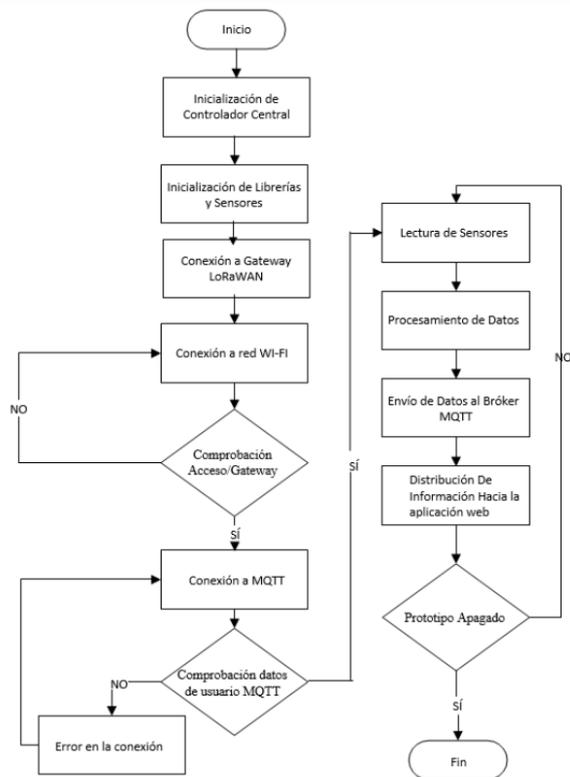


Figura 6. Diagrama de flujo del sistema

2.1 Bases conceptuales

Sensores y actuadores

Los sensores y actuadores son una parte integral de cualquier sistema de control de automatización industrial. De hecho, representan los niveles de campo de la pirámide de automatización. Los sensores son los sentidos del sistema de control y le proporcionan información sobre lo que está sucediendo. Los actuadores son las manos del sistema de control y pueden cambiar lo que sucede en la planta. Para realizar tareas de control en procesos industriales, los sensores nos permiten conocer los valores de las magnitudes físicas correspondientes que intervienen en el proceso y convertirlas en señales eléctricas. En base a estas señales, el programa de control debe especificar lineamientos para las máquinas y elementos involucrados en el proceso. Los actuadores son los encargados de transformar las señales eléctricas de control en otro tipo de señales o señales eléctricas de mayor potencia para realizar

las acciones correspondientes. Los actuadores (también llamados actuadores) forman la interfaz entre las señales de control de los dispositivos de control (como la automatización) y el propio proceso industrial: eléctrico, neumático (aire) e hidráulico (aceite). [4]

Controlador industrial Siemens PLC LOGO

PLC LOGO de la empresa SIEMENS es un dispositivo o módulo lógico inteligente capaz de controlar múltiples variables de salida mediante el acondicionamiento de las entradas. [5] Los componentes son los siguientes:

- Entradas digitales I1 hasta I24.
- Entradas analógicas AI1 hasta AI8.
- Salidas digitales Q1 hasta Q16.
- Salidas analógicas AQ1 y AQ2.
- Marcas digitales M1 hasta M24, M8: marcas de arranque.
- Marcas analógicas AM1 hasta AM6.
- Bits de registro de desplazamiento S1 hasta S8.
- 4 teclas de cursor.
- 16 salidas no conectadas X1 hasta X16. [5]

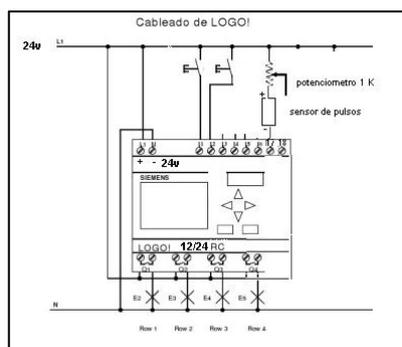


Figura 7. Estructura interna de un PLC LOGO” [6]

Electroválvulas

Reciben el nombre de residuos aquellos objetos que han dejado de desempeñar la función para la cual fueron creados. Se considera que ya no

sirven porque no cumplen su propósito original; y, por tal motivo, son eliminados. Sin embargo, estos pueden ser aprovechados si se manejan de forma adecuada.

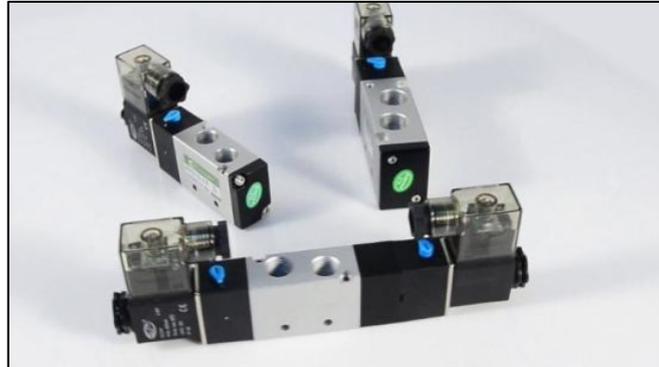


Figura 8. Modelo de electroválvula” [7]

Ahora bien, un desecho o basura es un producto resultado de las actividades humanas que ya no tiene valor ni utilidad, y es llevado directamente a un botadero. Para tratar los residuos y obtener buenos resultados es importante saber que hay distintos tipos y que se agrupan de diferentes maneras.

Según su estado físico se clasifican en: sólidos, líquidos y gaseosos. Según su procedencia se clasifican en:

- **Industriales:** provienen de los procesos de producción, transformación, fabricación, utilización, consumo o limpieza.
- **Agrícolas:** son los que proceden de la agricultura, la ganadería, la pesca, las explotaciones forestales o la industria alimenticia.
- **Sanitarios:** son aquellos relacionados con el área de salud, están compuestos por residuos generados como resultado del tratamiento, diagnóstico o inmunización de humanos o animales.
- **Residuos sólidos urbanos:** son los que están compuestos por basura doméstica.
- Según peligrosidad se clasifican en:

- **Residuos tóxicos y peligrosos:** son los que por su composición química u otras características requieren tratamiento especial.
- **Radioactivos:** materiales que emiten radiactividad.
- **Inertes:** son escombros y materiales similares; en general, no peligrosos para el ambiente, aunque algunos procedentes de la minería pueden contener elementos tóxicos.[8]

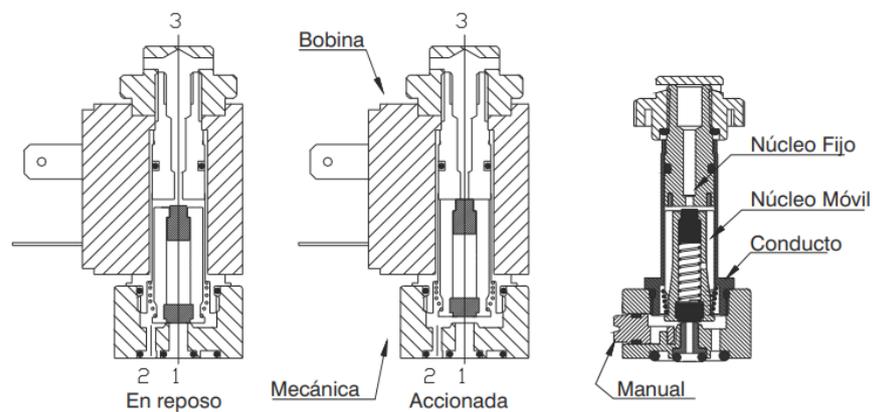


Figura 9. Tipos de Válvula

Elección del dispositivo controlador

Para la etapa de Procesamiento se realizó un análisis de varios dispositivos que puedan cumplir la función de controlador central. Las características de cada dispositivo son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Cuadro comparativo dispositivos controladores

PARÁMETROS	DISPOSITIVO CONTROLADOR		
	SHIELD WI-FI ARDUINO HDG204	ESP8266 NODEMCU 	ESP32 WROOM-32

			
Estándar	802.11 b/g	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Potencia de Tx	17 dBm	20 dBm	20.5 dBm
Umbral de Recepción	-88 dBm (11Mbps)	-91 dBm (11Mbps)	-93 dBm (MSC0, HT20)
Voltaje de Alimentación	3.3 V – 1.2 V	3.3 V	3.3 V
Frecuencia de Operación CPU	Depende del microprocesador que se utilice	160Mhz	2x240 Mhz
Rango de Frecuencia WIFI	2.4 Ghz	2.412 – 2.484 GHz	2.4 – 2.5 Ghz
Protocolo de Red	Ipv4, HTTP	Ipv4, TCP/UDP HTTP/FTP/	Ipv4, Ipv6, SSL, TCP/UDP HTTP/FTP/WQTT
Microprocesador	Depende del modelo	16 bits	32 bits
Consumo de Corriente mín.	250 mA	80 mA	80 mA
Consumo de Corriente max.	No especifica	250 mA	250 mA
Tipo de comunicación	SDIO/SP I and UART	SPI, UART, I2C, I2S,PWM GPIO	UART, SPI, SDIO,I2C, PWM I2S IR
Seguridad	WPA2, WEP	WPA, WPA2	WPA/WPA2/WPA2

			- Enterprise/WPS
Modo ahorro de Energía	Power Save Mode	Ultra-Low Power	Low Power
Costo	ALTO (80 dólares)	BAJO (11 dólares)	BAJO (12 dólares)
Disponibilidad en Perú	SI	SI	SI

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes dispositivos controladores. Elaboración propia.

Uno de los principales inconvenientes del dispositivo Arduino Shield es la disparidad de placas ESP32 y ESP8266, la diferencia limita el uso de protocolos de comunicación. Además de su alto consumo de energía de 250mA en comparación con 80mA para dispositivos ESP, es muy costoso en el mercado. Por otra parte, la placa ESP32 supera significativamente al ESP8266 con un límite receptivo más alto, frecuencias variadas de operación, amplia gama de protocolos y mayor alcance para transmitir.

Elección de la tecnología inalámbrica

La elección de la tecnología inalámbrica empleada para la transmisión de datos se basa en los requerimientos de diseño tales como: transmisión eficiente de información y gran alcance. Con base en estos factores, se realiza un análisis técnico comparativo de las principales tecnologías inalámbricas y posteriormente, se elige la que mejor se ajuste tanto al hardware como al software utilizado en la implementación del sistema de geolocalización y monitoreo. En la Tabla 2 se muestra un cuadro comparativo de las diferentes tecnologías inalámbricas.

Tabla 2. Cuadro comparativo de tecnologías inalámbricas

PARÁMETROS	TECNOLOGÍAS			
	LORA	ZIGBEE	WI-FI	GSM -GPRS
Frecuencia de la Señal	433 Mhz 915 Mhz 868 Mhz	2.4 Ghz 915 Mhz 868 Mhz	2.4 – 5 Ghz	300-1200 Mhz Banda Privada
Ancho de banda	150-250 kbps	20-250Kbps	2-100 Mbps	20- 100 Mbps
Número de nodos por red	1 millón	65000	255	Dependiente de la operadora celular
Distancia de transmisión sin interferencias	5km (urbano) 20km (rural)	1 -75 m	50-100 m	Depende de la operadora
Memoria	243 bytes	32-60KB	100KB	Dependiente de los dispositivos que se utilicen
Topología	Estrella	Punto a punto, estrella, malla, árbol clúster	Bus, anillo, estrella, árbol	Topología celular

Nota: Se ha realizado una comparación de las diferentes tecnologías inalámbricas. Elaboración propia.

En la actualidad, existen varios tipos de tecnologías inalámbricas con las que se pueden realizar el proyecto. Los módulos Zigbee, debido a su elevado costo, quedan descartados. WI-FI, basada en el estándar 802.11 presenta un amplio rango de cobertura, además de su versatilidad en el uso y una amplia gama de dispositivos con un precio accesible. La tecnología GSM/GPRS tiene una cobertura mucho mayor a las tecnologías antes mencionadas, sin embargo, para su uso se requiere un chip celular con saldo disponible para realizar la comunicación, lo que resultaría en un costo elevado para el usuario. Por lo tanto, para la realización del sistema se consideró la utilización de la tecnología LoRa debido a su menor consumo de energía, largo alcance y mayor cantidad de nodos soportados.

Elección de transceptor LoRa

Después de analizar las diferentes tecnologías inalámbricas de la Tabla 22 se elige el transceptor LoRa RFM95W como medio de comunicación inalámbrica. Este transceptor RFM95 cuenta con un modem de largo alcance LoRa, el cual transmite a una frecuencia de 915 MHz y a una potencia de 20 dBm, gracias a la técnica de modulación “LoRa” el transceptor RFM95 alcanza una sensibilidad muy alta, además de que cuenta con inmunidad alta a la interferencia, mientras que minimiza el consumo de corriente. En la Figura 1 se muestra la imagen del transceptor utilizado en el presente proyecto de investigación.



Figura 10. Transceptor LoRa RFM95W de 915 MHz

Elección de antena del transceptor LoRa

Este componente es de suma importancia para alcanzar la distancia máxima en el enlace de comunicación inalámbrica entre el nodo final y la puerta de enlace o Gateway LoRaWAN. El objetivo de una antena es transformar las señales eléctricas en ondas electromagnéticas de RF, propagándose al espacio libre (modo de transmisión (TX)) y transformar ondas electromagnéticas de RF en señales eléctricas (modo de recepción (RX)). Por lo tanto, su tipo, diseño, orientación y posicionamiento puede enlazar o romper el enlace de comunicación RF.

Dentro de los cinco tipos de antenas más comunes para los dispositivos IoT se encuentran:

- Antena de alambre de cuarto de onda simple
- Antena en PBC (ya impresa en la placa del circuito)
- Antena de chip
- Antena helicoidal simple de cuarto de onda
- Antena de látigo de cuarto de onda externa.

El transceptor LoRa RFM95W requiere de una antena de 17 mm de longitud específicamente para el espectro de frecuencia de portadora LoRa de 915 MHz. En la Tabla 3 se muestra las ventajas y desventajas de cada uno de estos tipos de antenas. Para la elección de la antena que usará el transceptor se tomará en cuenta el costo, tamaño y rendimiento.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los tipos de antena analizados

Tipo de antena	Ventajas	Desventajas
Antena de cable	<ul style="list-style-type: none"> •Extremadamente barata •Buen rendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> - Repetitividad del rendimiento de la antena en la fabricación en serie.
Antena en PBC	<ul style="list-style-type: none"> Muy bajo costo Buen rendimiento Tamaño relativamente pequeño Antenas de diseño estándar ampliamente disponibles 	<ul style="list-style-type: none"> •Sensible a la calidad del diseño del plano de tierra y la colocación de componentes cercanos. •Requiere un área de PCB relativamente grande.
Antena de chip	<ul style="list-style-type: none"> Tamaño pequeño Muchas opciones diferentes en el mercado 	<ul style="list-style-type: none"> •Costo y rendimiento medios. •Necesitan de circuitos adicionales para su funcionamiento que vayan de acuerdo a las especificaciones.

Antena helicoidal	<ul style="list-style-type: none"> •Baratas •Buen rendimiento 	<ul style="list-style-type: none"> •Desempeño medio •Cuidado especial en el montaje en la PCB
Antena de látigo	<ul style="list-style-type: none"> •El mejor rendimiento de las antenas •Ciclo de diseño más corto 	<ul style="list-style-type: none"> •Precio más elevado •La ubicación puede ser problemática, especialmente en dispositivos IoT pequeños •Requiere de pruebas de emisiones conducidas

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes tipos de antena que será usado en el transceptor. Elaboración propia.

Luego de analizar el costo, tamaño y rendimiento de cada antena se elige a la antena helicoidal como la antena que se ubicara en el transceptor del nodo final y el transceptor del Gateway, ya que es barata, tiene buen rendimiento y el tamaño de la antena es pequeña.

Bloque B

compuesto por un Gateway que es una parte clave de esta solución, dado que el nodo sensor necesita enviar la información a algún lugar dónde pueda analizarse y así enviarse a la nube. Funciona con un programa interno llamado "Packet Forwarder" que le permite retransmitir los mensajes al servidor. A grandes rasgos el ciclo de funcionamiento de transmisión de mensajes va desde el nodo

final, pasa por el Gateway y los mensajes son reenviados hacia el servidor de Red.

Gateway LoRaWAN

Se realizó la comparación de las especificaciones técnicas y económicas de tres Gateway LoRaWAN de diferentes empresas fabricantes. La Tabla 4 muestra la tabla del análisis elaborado.

Tabla 4. Análisis técnico comparativo de Gateway LoRa

Características	Modelos		
	Four Faith F8L10GW	Rak Wis device RAK7249	Dragino OLG02
Frecuencias de operación	915 – 928 MHz	915 – 928 MHz	915 – 928 MHz
Potencia máxima	25 ± 2 dBm	27 dBm	+20 dBm
Sensibilidad de recepción	-140 dBm	-142 dBm	-148 dBm
Puerto de comunicaciones de salida	Integrado	Integrado	Integrado

Tipo de comunicación de salida	EthernetWiFi Celular (3G, 4G)	EthernetWiFi Celular (3G, 4G)	EthernetWiFi Celular (3G, 4G)
Potencia de consumo	6.6 watts	12 watts	No indica
Tiempo medio entre fallas(MTB)	No indica	No indica	No indica

Rango Máximo	6 km	5-10 Km	5-10 Km
Grado de protección	IP67	IP67	IP 67
Cantidad de Nodos	No indica	200-1000	50-300
Costo de referencia	\$800	\$599	\$110

Nota: Se ha realizado la comparación de los diferentes Gateway LoRaWAN. Elaboración propia.

La fórmula de evaluación para la calificación del Gateway LoRaWAN es la siguiente:

$$Puntaje_{gateway} = \frac{P_{ptx} + P_{srx} + P_{puerto} + P_{out} + P_{consumo} + P_{MTBF} + P_{IP} + P_{precio}}{\sum P_{max}}$$

Donde:

Puntaje gateway : Puntaje obtenido por odelo de Gateway.

P_{ptx} : Puntaje asignado a potencia máxima.

P_{srx} : Puntaje asignado a sensibilidad de recepción.

P_{puerto} : Puntaje asignado a puerto de comunicaciones.

P_{out} : Puntaje asignado tipo de comunicación de salida.

P_{consumo} : Puntaje asignado a consumo de energía.

P_{MTBF} : Puntaje asignado a MTBF

P_{IP} : Puntaje asignado a grado de protección. P_{precio} : Puntaje asignado a precio referencial.

$\sum P_{max}$: Sumatoria total de puntajes máximos.

Tabla 5. Puntaje y valores para cada modelo de Gateway LoRaWAN

Características	Escala	Puntaje	Modelos		
			Four Faith - F8L10GW	Rak Wis device - RAK7249	Dragino- OLG02
Potencia máxima	Menor a 25 dBm	1	2	2	1
	Mayor igual a 25 dBm	2			
Sensibilidad de recepción	Mayor igual a -140 dBm	1	1	2	2
	Menor a -140 dBm	2			
Puerto de comunicaciones desalida	Externo	1	2	2	2
	Integrado	2			
Tipo de comunicación desalida	LTE (banda 2,4)	1	1	1	1
	LTE (banda 2,4, 28)	2			
Potencia de consumo	Mayor igual a 25 W	1	2	2	2
	Menor a 25 W	2			
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	No indica	0	0	0	0
	Menor igual a 180,000 horas	1			
	Mayor a 180,000 horas	2			
Grado de protección	No indica	0	2	2	2
	IP-66	1			
	IP-67	2			

Costo de referencia	Mayor igual a \$700	1			
	Menor a \$700	2	1	2	2
	Suma Total	16	11	13	12
	Puntaje Total		68.8	81.3	75

Nota: Se ha realizado el cuadro de puntaje para la evaluación del Gateway LoRaWAN. Elaboración propia.

Definición de Términos Básicos

Sensores

Sensores son dispositivos que permiten medir variables físicas como luz, temperatura, humedad, aceleración, etc y transformarla en una señal eléctrica como voltaje, corriente o resistencia.[6]

Actuadores

Un actuador es un dispositivo que convierte la energía en movimiento o que se utiliza para aplicar fuerza. El dispositivo toma energía de una determinada fuente (que puede ser energía creada por aire, líquido o electricidad) y la convierte en el movimiento deseado. Los dos tipos de movimiento ásicodeseados son lineal y rotativo, pero también es común el movimiento oscilatorio.[7]

Actuadores mecánicos. Trabajan mediante la conversión de un tipo de movimiento (rotativo o lineal). Combinan distintos componentes para operar, como engranes, poleas, cadenas, resortes y rieles, entre otros. .[10]

Actuadores neumáticos. Su fuente de energía es el aire comprimido, esto permite que respondan con rapidez a operaciones de arranque y paro. Son seguros, poderosos, confiables y baratos. [7]

Actuadores hidráulicos. Utilizan líquidos como aceites para generar movimientos donde se requiere de una mayor fuerza, por manejar cargas pesadas. [7]

Actuadores eléctricos. Estos son limpios, fáciles de usar y con disponibilidad inmediata. Requieren de energía de una fuente externa (batería), para conducir un motor y convertir la energía eléctrica en fuerza mecánica. [8]

Actuadores térmicos. Como su nombre lo dice, utilizan energía térmica o magnética para producir el movimiento. Se caracterizan por ser ligeros, muy económicos y brindar densidad de alta potencia. [7]

Controlador

Es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error (diferencia entre valor medido y deseado), para luego actuar a fin de corregir este error. Tiene por objetivo elaborar la señal de control que permita que la variable controlada corresponda a la señal de referencia. [8]

PLC

Un PLC es un Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller), en sí es un sistema de control. Los PLC's son dispositivos electrónicos o computadoras digitales de tipo industrial que permiten la automatización, especialmente de procesos de la industria, debido a que controlan tiempos de ejecución y regulan secuencias de acciones. [9]

El campo de aplicación de los PLCs es muy diverso e incluye diversos tipos de industrias (ej. automoción, aeroespacial, construcción, etc.), así como de maquinaria. A diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, amplios rangos de temperatura, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto. Los programas para el control de funcionamiento de la máquina se suelen almacenar en baterías copia de seguridad o en memorias no volátiles.

Un PLC es un ejemplo de un sistema de tiempo real duro donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado, que de lo contrario no producirá el resultado deseado. [9]

Electroválvula

Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide es posible cambiar la posición de la válvula controlando, de esta forma, la dirección del fluido. [8]

Electroválvulas de mando directo: Como indica el término mandan directamente el aire comprimido de la alimentación a la utilización y pueden definirse también como de tipo de obturador. Están compuestas por la Mecánica, un conducto en latón o acero inoxidable sobre el cual se ensarta la bobina. En el conducto se desliza el núcleo móvil que porta los obturadores de estanqueidad y es accionado por el campo magnético de la bobina bajo tensión. En el extremo de la mecánica está el núcleo fijo que amplifica el campo magnético y en caso de utilización con corriente alterna, lleva un anillo de cobre llamado de desfase que limita las vibraciones causadas por la corriente (los núcleos son de acero especial de bajo magnetismo residual). Estas electroválvulas, siempre provistas de un accionamiento mecánico suplementario útil para accionar la electroválvula en cualquier momento (ejem. en caso de búsqueda de averías), pueden ser solo 2/2 y 3/2 (normalmente abiertas o cerradas). [9]

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis Principal

Hi: El contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico será capaz de mejorar el proceso de selección de residuos sólidos, Callao 2022

Ho: El contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico no será capaz de mejorar el proceso de selección de residuos sólidos, Callao 2022

3.1.2. Hipótesis Específica.

El diseño de una etapa con sensores idóneos logrará la distinción de diversas clases de desechos

El diseño de la etapa de monitoreo inalámbrico logrará la generación de alertas

3.2. Definición conceptual de variables

Variables Dependiente:

Mejora del proceso de selección de residuos sólidos

Variables Independientes:

Diseño del contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico

3.3. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	DEFINICIÓN
DEPENDIENTES		
Mejora del proceso de selección de residuos sólidos	Diferencia de error entre contenedor clásico y automatizado	Error en contenedores clásicos
		Error en contenedores automatizados
INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	DEFINICIÓN
Diseño del contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico	Red de sensores	Es la red de sensores a utilizar para identificar las distintas clases de residuos sólidos que atraviesen la entrada del contenedor
	Sistema de monitoreo inalámbrico	Es el sistema de monitoreo que realiza una alerta cuando el contenedor se encuentra lleno y disponible para ser vaciado

Tabla 6. Descripción operacional de variables

Fuente: UNAC 2021, Elaboración Propia

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y Diseño de Investigación

El tipo de Investigación es cuasi experimental de tipo hipotético y aplicativo pues en ella se toman datos comparativos entre el error que presentan la recolección de residuos sólidos seleccionados en un contenedor convencional y uno automático.

4.2. Método de la investigación:

El presente trabajo de investigación fue diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, debido a que se calculó el error presentado en la recolección de objetos de residuos sólidos.

Para el desarrollo de la investigación se consideraron los siguientes pasos:

4.2.1. Diseño estructural del prototipo del contenedor

Se realizó un diseño estructural basado en un recolector convencional municipal, los cuales presentan el tamaño de aproximadamente 1.5 m de alto y 2 metros de largo, el mismo que fue diseñado en el programa SketchUp.



Figura 11. Contenedores municipales actuales

Se observó que los contenedores convencionales suelen dividirse en múltiples sectores, pero en la actualidad, suelen mezclarse por la naturaleza de su material

de desecho de almacenamiento. Para el diseño estructural se consideraron 4 contenedores en 1 solo, con el objetivo de poder realizar la muestra del error.

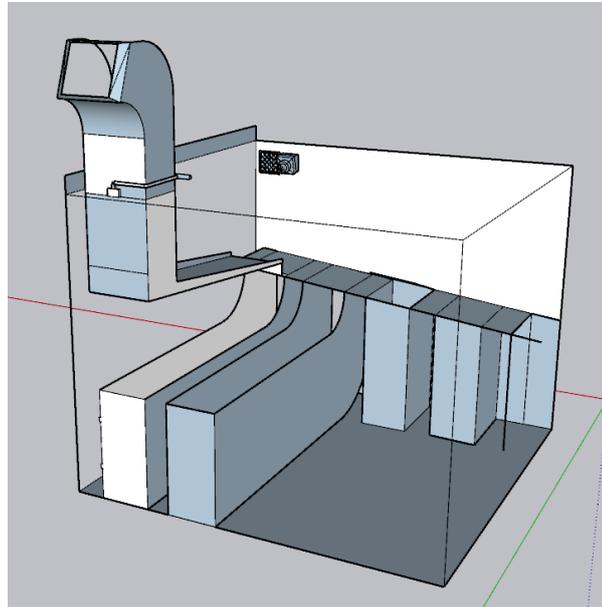


Figura 12. Diseño estructural del contenedor

La etapa de ingreso del residuo sólido es escaneada por un sensor ultrasonido HC-SR04 tal como muestra figura, el cual activa una interrupción al microcontrolador para iniciar el funcionamiento del sistema.

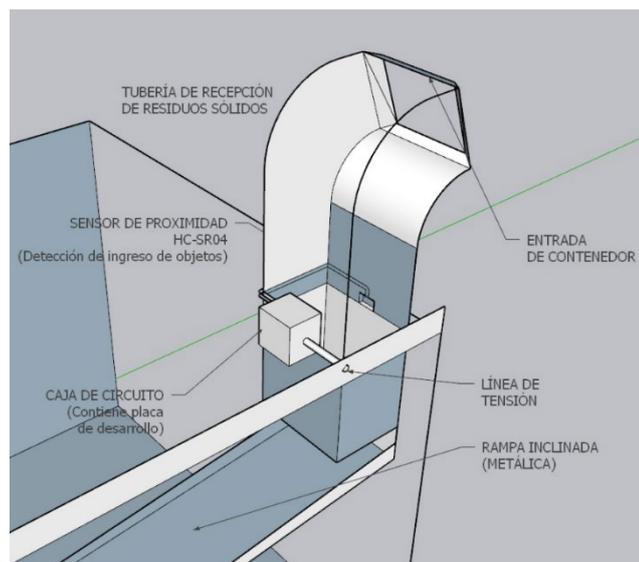


Figura 13. Principio de funcionamiento del sensor HC-SR04

Es por ello que se diseñó, un solo tubo de entrada de residuos sólidos, debido a que el dispositivo preparado se encargará de accionar según lo que el microcontrolador seleccione. Los componentes fueron detallados como se muestran en la figura anterior.

Asimismo, se ubicó de forma estratégica una cámara

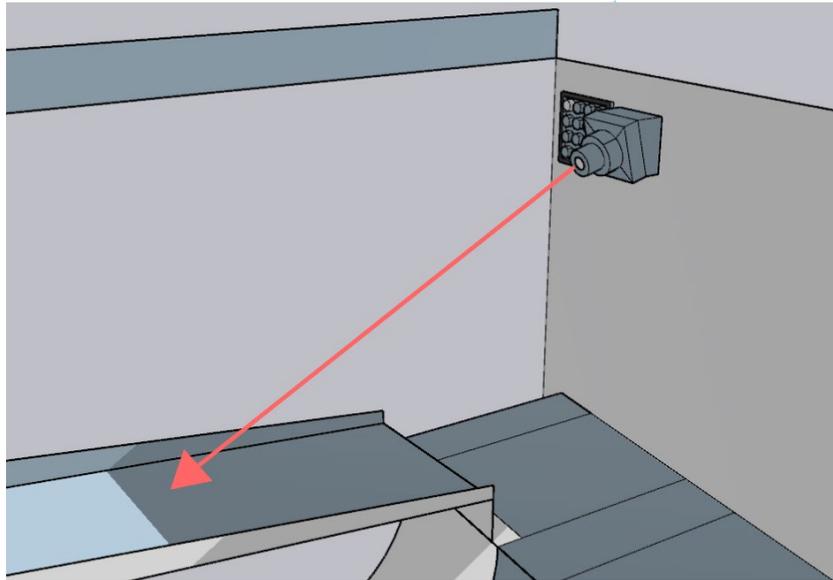


Figura 14. Ubicación de cámara

4.2.2. Diseño lógico de sistema de control inteligente

A continuación, se muestran la implementación del sistema de control inteligente obtenidos para el contenedor inteligente de recolección de residuos sólidos, para ello solo se consideraron los siguientes ítems de clasificación:

- Plástico y Vidrio
- Papel
- Cartón

Se esquematizan en cuatro secciones para esta etapa: la implementación de los sensores, el monitoreo, el envío inalámbrico de la alerta y la clasificación de los residuos.

4.2.3. Implementación de los sensores de proximidad

Se optó por el sensor HC-SR04 de la Figura 15 con el microcontrolador Atmega 328P utilizando la placa de desarrollo Arduino UNO, tal como se muestra en la Figura 16 que permitió habilitar el circuito al momento de recibir el objeto por la apertura principal del recolector de basura.



Figura 15. Sensor HC-SR04

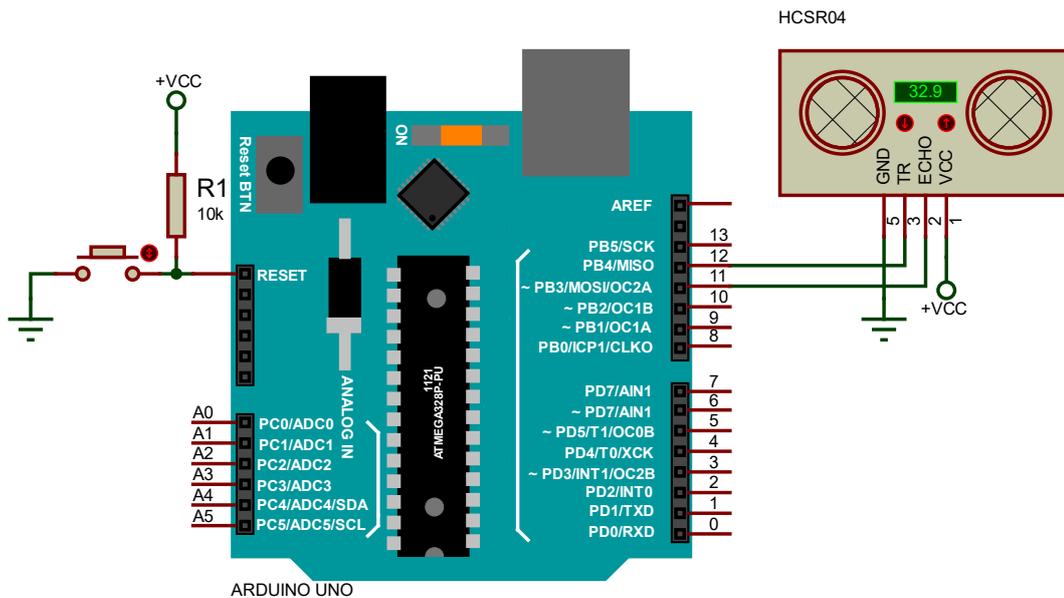


Figura 16. Sensor HC-SR04 conectado al Arduino-UNO

Internamente el HC-SR04 trabaja con un sensor ultrasónico, utilizamos la siguiente fórmula para la obtención de la distancia medida basándonos en la hoja de datos del fabricante.

$$v = \frac{d}{t}$$

Considerando la velocidad del sonido aproximada 340 m/s e ingresando un pulso de $10\mu\text{s}$, reemplazando en la formula anterior tenemos:

$$\frac{340\text{m}}{\text{s}} \times \frac{1\text{s}}{1000000\mu\text{s}} \times \frac{100\text{cm}}{1\text{m}} = \frac{2d}{t}$$

$$d(\text{cm}) = \frac{t(\mu\text{s})}{58}$$

El sensor HC-SR04 se programó con utilizando el entorno de desarrollo de Arduino considerando los resultados obtenidos en la ecuación, la codificación se muestra a continuación:

```
int Echo = 11;
int Trigger = 12;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Echo, INPUT);
  pinMode(Trigger, OUTPUT);
  digitalWrite(Trigger, LOW);
}
void loop() {
  float tiempo;
  float distancia;
  digitalWrite(Trigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(Trigger, LOW);
  tiempo = pulseIn(Echo, HIGH);
  distancia = tiempo / 58;
  Serial.print("Distancia: ");
  Serial.print(distancia);
  Serial.print(" cm");
  Serial.println();
  delay(500);}

```

4.2.4. Implementación del monitoreo mediante indicación de estado contenedor lleno

Para el envío de información cuando el contenedor estaba lleno de capacidad se utilizó el módulo SIM800L, para ello se consideró tener una antena de 3 dBi para tener suficiente rendimiento para el envío de la alerta, la antena junto con el módulo de 3 dBi se puede observar en la Figura 17.



Figura 17. SIM 800L con antena de 3 dBi

Para la alimentación del módulo, se utilizó un LM317K, mejorado con un transistor NPN para suministrar la potencia suficiente para suministrar el voltaje y corriente adecuada al circuito del SIM800L, el circuito de la Figura 18 muestra el esquemático.

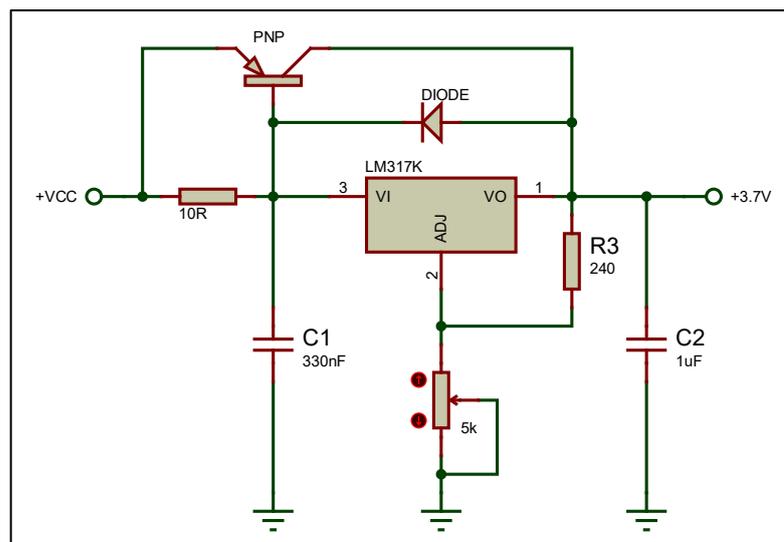


Figura 18. Circuito de potencia para el SIM800L

El código para realizar la configuración inicial del módulo SIM800L se presenta a continuación:

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial(3,2);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  Serial.println("Iniciando...");
  delay(2000);
  mySerial.println("AT");
  updateSerial();
  mySerial.println("AT+CSQ");
  updateSerial();
  mySerial.println("AT+CCID");
  updateSerial();
  mySerial.println("AT+CREG?");
  updateSerial();
}

void loop() {
  updateSerial();
}

void updateSerial(){
  delay(1000);
  while(Serial.available()){
    mySerial.write(Serial.read());
  }
  while(mySerial.available()){
    Serial.write(mySerial.read());
  }
}
```

4.2.5. Envío inalámbrico de la alerta con la ubicación del GPS

El dispositivo configurado envía un mensaje indicando que el contenedor se encuentra lleno de basura

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial(3, 2);
SoftwareSerial gps(5,4);
char dato=' ';

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
  gps.begin(9600);

  Serial.println("Iniciando...");
  delay(1000);

  mySerial.println("AT");
  updateSerial();
  mySerial.println("AT+CMGF=1");
  updateSerial();
  mySerial.println("AT+CMGS=\"+51*****\"");
  updateSerial();
  mySerial.print("Contenedor Inteligente para la Recolección de Basura");
  updateSerial();
  mySerial.write(26);
}

void loop(){
  if (distancia >= '150'){
    mySerial.println("AT+CMGS=\"+51*****\"");
    updateSerial();
    mySerial.print("Contenedor Inteligente para la Recolección de Basura");
    if(gps.available()){
      dato = gp+99s.read();
    }
  }
}
```

```

        mySerial.print("El contenedor se encuentra lleno de basura, por
recoger en las siguientes coordenadas: ");
        mySerial.print(dato);
        updateSerial();
        mySerial.write(26);
    }
}
}

void updateSerial(){
    delay(500);
    while (Serial.available()){
        mySerial.write(Serial.read());
    }
    while(mySerial.available()){
        Serial.write(mySerial.read());
    }
}
}

```

4.2.6. Pruebas de reconocimiento de imagen

Esta placa de desarrollo integrará todos los circuitos y componentes utilizados en este proyecto.

El algoritmo desarrollado tiene por objetivo el de clasificar los elementos que ingresan al container, esto es, adecuarlos en sus respectivos compartimientos por cada tipo de material: elementos de plástico, elementos de vidrio, elementos de papel y cartón y no definido.

En los artículos no definidos se incluyen los objetos que escapan del grupo de reciclado sean: productos orgánicos, tela o elementos metálicos. El proceso de detección se muestra en la Figura 19.

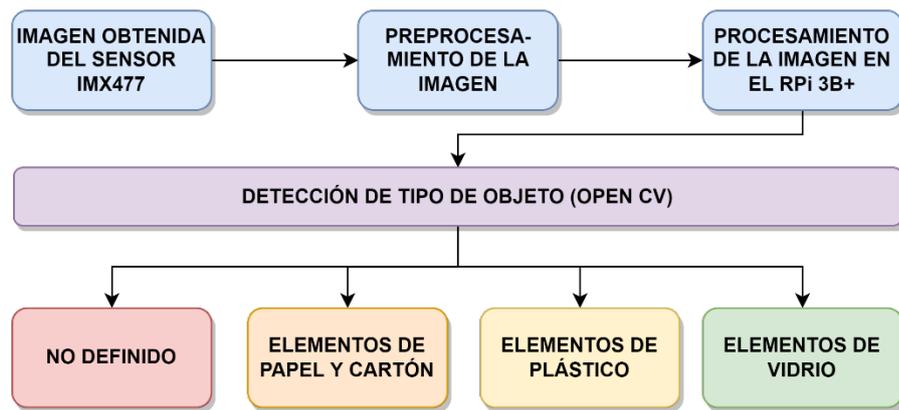


Figura 19. Diagrama de detección de objetos

Una vez los residuos sean detectados, estos se depositan sobre una bandeja rodante que avanza a una determinada velocidad para ser escaneados por una cámara IMX477 de la Figura 20, que detecta el tipo de material u objeto para ser procesado y clasificado.



Figura 20. Sensor de cámara IMX477

El sensor IMX477 posee una alta sensibilidad, alta tasa de captura de imágenes debido a su tecnología que usa convertidores A/D en columnas paralelas además de tener un bajo consumo de energía debido a que reduce el uso de circuitos analógicos por lo tanto conlleva una reducción del ruido al como muestra la Figura 21.

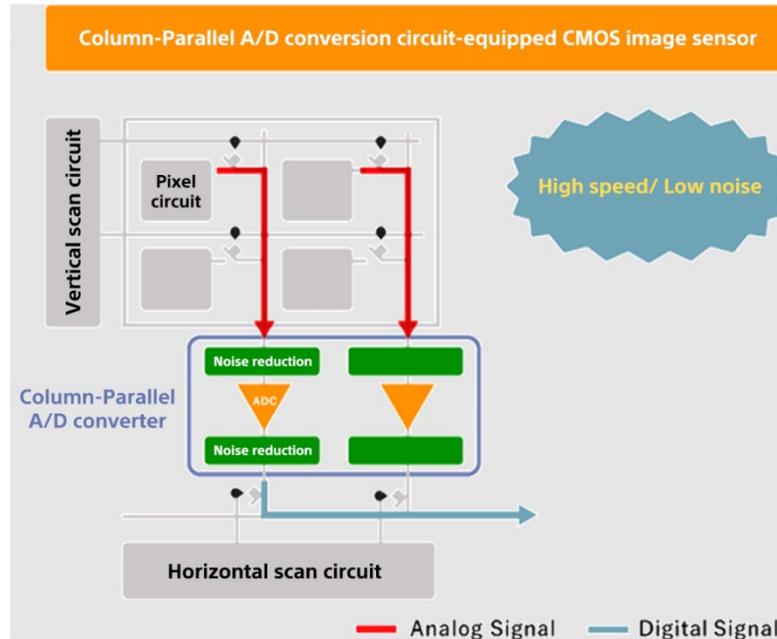


Figura 21. Diagrama de bloques del convertor A/D.

La ventaja que se tiene el uso de este sensor de cámara para el presente proyecto es que permite el uso de filtros de corte de luz infrarroja para poder procesar las imágenes en condiciones de baja luz. Este sensor necesitará procesar las imágenes en bajas condiciones de luz pues se encontrará instalado dentro del contenedor inteligente.

Para la clasificación visual de los residuos se utilizó OpenCV, esta biblioteca de libre acceso y amplia gama de aplicaciones dentro del campo del aprendizaje automático permite, previo entrenamiento y a través de algoritmos, establecer patrones de reconocimiento según el tipo de material.

4.2.7. Pruebas de conectividad y monitoreo remoto del contenedor

Para las pruebas de efectividad en conectividad remota del contenedor, se consideró realizar corridas de pruebas con objetivos para verificar la tasa de fallo respecto al envío real de dato de volumen del tanque interno, así como el tiempo de respuesta, todo ello se desarrolló vía móvil, los valores obtenidos se muestran en la Tabla 2.

	Tiempo de respuesta	Volumen (%)
Prueba 1	11	10
Prueba 2	20	20
Prueba 3	29	30
Prueba 4	38	40
Prueba 5	47	50
Prueba 6	57	60
Prueba 7	68	70
Prueba 8	76	80
Prueba 9	88	90
Prueba 10	95	100

Tabla 7. Pruebas de funcionamiento del aplicativo

Existió una variación media de 7.1 segundos por cada 10% de volumen variado, ello brindó una respuesta de 0.71 segundos de reacción del sistema para detectar un objeto al momento de caer en los bloques de llenado.

4.2.8. Pruebas y comparativas con recolectores municipales convencionales

Se realizaron pruebas de comparación entre las corridas realizadas durante 1 semana de 3 contenedores ubicados a lo largo de la avenida Juan Pablo II del distrito de Bellavista, Callao. Los contenedores fueron nombrados A, B y C, y se representaron en el mapa con indicador amarillo, por otro lado, el contenedor diseñado se estableció entre los puntos B y C para equiparar las distancias de aplicación y fue denominado con la letra X y color verde para diferenciarlo del resto.

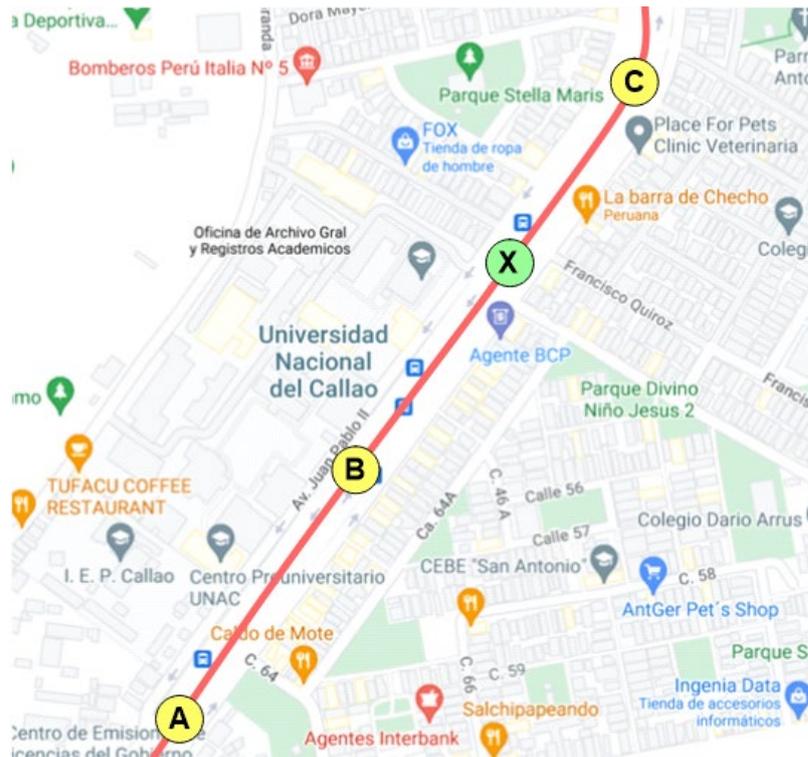


Figura 22. Localización de contenedores

4.3. Población y muestra:

La población está determinada por los contenedores recicladores existentes en la región Callao

Ubicación Espacio Temporal: Universidad Nacional del Callao

Determinación de la Muestra: 3 contenedores del distrito de Bellavista de la Región Callao

Método de muestreo no probabilístico

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Esta investigación se encuentra dirigida por locación en el distrito de Bellavista de la Región Constitucional de Callao – Perú

4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos que se utilizó fue una base de datos de aproximadamente 6370 imágenes de internet para el entrenamiento del algoritmo desarrollado en Python. Estas imágenes fueron previamente clasificadas para el entrenamiento.

4.6. Análisis y procesamiento de datos:

Se realizó el análisis en el software estadístico SPSS para obtener un mejor orden de datos, a pesar de ser datos de simple manejo, se consignaron todos los datos obtenidos por los aplicativos móviles, así como el uso de formularios de elaboración propia llenados por el personal de los contenedores A, B y C. Además de la utilización del módulo OpenCv.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Los resultados obtenidos de los llenados de los tanques en el tiempo de 1 semana de prueba fueron los siguientes:

Tabla 8. Resultados de % errores en botellas de vidrio

	Contenedor A	Contenedor B	Contenedor C	Contenedor X
1° día	24.457	20.500	28.377	5.010
2° día	24.018	23.020	23.165	6.230
3° día	14.890	27.941	27.010	4.950
4° día	29.630	17.948	30.230	5.260
5° día	26.323	30.250	27.612	4.780
6° día	22.711	23.106	22.631	5.400
7° día	22.298	24.598	21.522	4.850
	23.475	23.909	25.792	5.211

Tabla 9. Resultados de % errores en plástico

	Contenedor A	Contenedor B	Contenedor C	Contenedor X
1° día	24.793	24.900	25.609	5.010
2° día	23.029	29.887	29.201	6.230
3° día	20.325	21.379	30.350	4.500
4° día	24.377	28.686	24.062	6.230
5° día	29.799	21.796	22.896	5.260
6° día	28.814	26.626	25.794	4.140
7° día	25.680	29.903	23.467	4.860
	25.259	26.168	25.911	5.176

Tabla 10. Resultados de % errores en cartón

	Contenedor A	Contenedor B	Contenedor C	Contenedor X
1° día	19.023	24.246	18.198	5.010
2° día	19.708	28.623	22.994	6.230
3° día	19.101	31.933	14.108	4.910
4° día	18.572	29.484	22.782	5.860
5° día	20.169	10.061	28.313	5.970

6º día	19.196	24.938	26.869	5.620
7º día	15.231	15.699	20.925	5.320
	18.714	23.569	22.027	5.560

Tabla 11. Resultados de % errores en papel

	Contenedor A	Contenedor B	Contenedor C	Contenedor X
1º día	13.319	15.812	22.476	4.700
2º día	22.847	21.822	21.447	5.600
3º día	27.145	16.145	18.907	5.300
4º día	16.666	19.571	14.703	4.810
5º día	13.570	23.928	20.811	5.210
6º día	14.038	14.372	19.909	4.510
7º día	28.485	18.932	12.413	4.780
	19.438	18.655	18.667	4.987

5.2. Resultados inferenciales

Los resultados de la validación de la medición se realizaron obteniendo las siguientes tasas de error según la:

Tabla 12. Porcentaje de error de la medición del sensor de proximidad

	Medición Real (cm)	Medición HC-SR04 (cm)	% Error
Test 1	34.6	35.32	0.02%
Test 2	20.1	19.66	0.02%
Test 3	30.5	30.83	0.01%
Test 4	39.1	38.76	0.01%
Test 5	28.7	27.98	0.03%

Se observa que los valores de medición del HC-SR04 rondan en promedio el 0.02%, teniendo una lectura de la medición muy cercana a la real con poco margen de error.

La prueba de la medida se muestra en la Figura 23.

```
Distancia: 44.41 cm  
Distancia: 33.28 cm  
Distancia: 33.36 cm  
Distancia: 33.28 cm  
Distancia: 33.28 cm  
Distancia: 33.28 cm  
Distancia: 33.28 cm  
Distancia: 33.26 cm  
Distancia: 33.28 cm  
Distancia: 33.28 cm  
Distancia: 33.28 cm  
Distancia: 33.36 cm  
Distancia: 33.26 cm  
Distancia: 33.28 cm
```

Figura 23. Resultados de medición del Sensor HC-SR04

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

En la medición, se obtuvieron errores para botellas de vidrio entre 5.211%, para botellas de plástico 5.176%, para materiales de cartón 5.560% y para materiales de papel 4.987%. Lo que indica que la clasificación de los materiales fue muy elevada, de aproximadamente el 5.23% de error indicando que el algoritmo fue entrenado correctamente, el cual puede tomarse como referencia para otro tipo de clasificación de objetos.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Respecto con la investigación de Diaz Colorado y Caldas Vega en el 2018, su trabajo tuvo una eficacia del 87%, indicando que prototipo desarrollado en la presente investigación tuvo una tasa de acierto mayor, de alrededor del 94.77%.

En la investigación de Mazi Melara y Lopez Guardado, el prototipo diseñado solo permitía cerrar la compuerta del contenedor. En contraste con el prototipo diseñado, permitió la clasificación de materiales además de utilizar motores para el cierre de cada compuerta de los materiales clasificados (plástico, vidrio, cartón y papel), al igual que la compuerta principal para evitar el llenado del contenedor inteligente.

6.3. Responsabilidad ética

La presente investigación se guía del código de ética de la UNAC los cuales corresponden: ser transparente en su investigación, ser objetivo, ser honesto y confidencial con los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

- La implementación de tecnologías a los sistemas convencionales beneficia en gran medida los procesos cotidianos realizados en tareas que involucran el bienestar de la sociedad.
- La clasificación de basura es una práctica importante para separar los diferentes tipos de residuos y tratarlos de manera adecuada. Esto puede incluir la separación de residuos orgánicos, plásticos, papel, vidrio y metales. La clasificación de la basura ayuda a reducir la cantidad de residuos que van a los vertederos y aumenta la eficiencia en la recolección y el reciclaje de materiales valiosos. También puede ayudar a reducir los costos de manejo de residuos y mejorar la sostenibilidad ambiental.
- OpenCV es una técnica de procesamiento de imágenes que permite identificar y separar diferentes tipos de residuos mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático. Esto puede incluir la utilización de técnicas de reconocimiento de objetos y análisis de características para clasificar los residuos en diferentes categorías. La ventaja de utilizar OpenCV es que permite automatizar el proceso de clasificación y reducir el tiempo y los costos humanos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la precisión de la clasificación dependerá de la calidad de las imágenes y la capacitación del modelo.
- Un acierto del 94.7% en la clasificación de basura puede indicar que el modelo de aprendizaje automático utilizado en el proceso de clasificación está bien entrenado y tiene suficiente información para clasificar correctamente los residuos. También puede ser un indicativo de que el modelo está bien calibrado y tiene un buen rendimiento en condiciones específicas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el acierto de la clasificación puede variar dependiendo de la complejidad de la tarea y de la calidad de los datos de entrada. Además, este porcentaje puede ser considerado como un buen resultado en una tarea de clasificación, pero, aun así, siempre es necesario analizar el contexto y objetivos de la clasificación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un diseño de dimensiones más grande a fin de conseguir una captación mayor de residuos.

El microcontrolador utilizado es convencional, por lo cual se sugiere brindar robustez al sistema para ser utilizado con motores de mayor potencia y sea sostenible en el tiempo.

Se recomienda implementar un reconocimiento inicial a fin de evitar residuos que no se encuentren en la lista de selección para evitar el llenado de ella.

Se recomienda establecer una red de contenedores municipales para realizar un monitoreo más eficiente de la gestión de residuos sólidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bernal, César A. (2010). Metodología de la Investigación. Tercera edición. Pearson Educación: Colombia.
2. Arteaga Ramirez, R., Cervantes Osornio, R., Vásquez Peña, M., & Ojeda Bustamante, W. (2017). Estación meteorológica convencional versus automática sus diferencias evaluadas con índices estadísticos . Revista Mexicana de ciencias agrícolas, 1301-1314.
3. Navarro, R. (2017, 20 de febrero). Cómo los sistemas de basura inteligentes reducen los costes de recogida. Lavanguardia.com. Recuperado de <http://www.lavanguardia.com/vivo/ciudad/20170220/42155611703/basura-smart-ciudad.html/>
4. Peñarredonda, J. L. (2013). Tecnología y cultura digital. Recuperado de <http://www.enter.co/cultura-digital/ciudadinteligente/la-tecnologia-clavepara-que-las-ciudades-sean-sostenibles/>
5. Horowitz, L., & Mayobre, R. (2018). Telemetría de Contenedores de Residuos. Título de Licenciado en Telecomunicaciones. Universidad ORT Uruguay, Uruguay.
6. Vera Villanueva, C. A. Diseño de un sistema de contenedores inteligentes para mejorar la recolección de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de San Martín de Porres.
7. Medina, L., Ramón, V., & Fresdo, V. (2017). Comparación de la temperatura, precipitación, velocidad media y dirección del viento medidas por dos estaciones meteorológicas, ubicadas en Punta de Piedras, isla de Margarita. Memoria de la Fundación La Sala de Ciencias Naturales, 61-80.
8. Murcia Almanza, D. S., & Rojas Paternina, A. (2015). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA REMOTA DE BAJO COSTO EMPLEANDO EL ENFOQUE DE INTERNET DE LAS COSAS. Tesis. UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA, Bogotá D.C.

9. González, A., García, Y., Gallego, D. E., Sastoque, J. A., & Ramírez, E. (2016). Impacto medioambiental de la integración de la computación en la nube y la internet de las cosas. *Producción + Limpia*, 11(2), 22–30. <https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a2>
10. Peruanos generamos 21 mil toneladas diarias de basura". *Diario Oficial El Peruano*. <https://elperuano.pe/noticia/120825-peruanos-generamos-21-mil-toneladas-diarias-de-basura#:~:text=15/05/2021%20El%20Minam,los%2030%20millones%20de%20habitantes>. (accedido el 25 de enero de 2022).
11. Diaz, C., & Caldas, J. (2018). Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un Punto Ecológico. Bogotá: Universidad Católica de Colombia - Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/22412>
12. MAZI MELARA, C. O., & LOPEZ GUARDADO, W. A. (2018). "DISEÑAR UN BASURERO INTELIGENTE PARA LA MODERNIZACIÓN Y ERRADICACIÓN DE LA BASURA EN EL CENTRO ESCOLAR NICOLÁS J.BRAN. Trabajo de Graduación. Universidad Tecnológica de El Salvador, San Salvador.
13. "Capítulo 2 Sensores y Actuadores | Introducción a la Automatización Industrial". Home | Bookdown. https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/sensoractuador.html (accedido el 27 de enero de 2022).
14. "SIEMENSLOGO.com"
https://siemenslogo.com/module/ph_simpleblog/module-ph_simpleblog-single?sb_category=general&rewrite=que-es-un-siemens-logo
(accedido el 1 de febrero de 2022).
15. "Partes PLC logo siemens 8 | Código Electrónica". Inicio | Código Electrónica. <http://codigoelectronica.com/blog/partes-plc-siemens-logo>
(accedido el 1 de febrero de 2022).
16. "Todo sobre los actuadores – Revista Especificar". *Revista Especificar – Soluciones para agua, energía y sustentabilidad*.

<https://especificarmag.com.mx/todo-sobre-los-actuadores-html/>
(accedido el 2 de febrero de 2022).

17. "¿Qué son los sensores y para qué sirven? - DynamoElectronics". DynamoElectronics. <https://dynamoelectronics.com/que-son-los-sensores-y-para-que-sirven/> (accedido el 2 de febrero de 2022).
18. "Controladores (teoría de control)". Share and Discover Knowledge on SlideShare. <https://es.slideshare.net/martinezduardo/controladores-teoria-de-control-24587590> (accedido el 2 de febrero de 2022).
19. "CTIN". CTIN. <http://www.ctinmx.com/que-es-un-plc/> (accedido el 3 de febrero de 2022).
20. "Electroválvula Neumática 5/2 VÍAS Único Solenoide". Armotec. <https://armotec.pe/producto/automatizacion/neumatica/electrovalvula-neumatica-bm520ns9l/> (accedido el 4 de febrero de 2022).
21. "Residuos: clasificación, riesgos y contaminación | Seguridad Minera". Revista Seguridad Minera. <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/residuos-clasificacion-riesgos-contaminacion/> (accedido el 5 de febrero de 2022).
22. "Electroválvulas | ¿Qué son y cuál es su principal función? | SHI". Válvulas Hidráulicas. <https://valvulas-hidraulicas.mx/las-electrovalvulas/> (accedido el 5 de febrero de 2022).

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

TÍTULO: DISEÑO DE UN CONTENEDOR MUNICIPAL AUTOMÁTICO MEDIANTE RED DE SENSORES CON MONITOREO INALÁMBRICO PARA LA MEJORA DEL PROCESO DE SELECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS, CALLAO 2022					
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	DISEÑO METODOLÓGICO
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	DEPENDIENTES		1. Tipo y diseño de investigación
¿Es posible diseñar un contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico capaz de mejorar el proceso de selección de residuos sólidos, Callao 2022?	Diseñar un contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico capaz de mejorar el proceso de selección de residuos sólidos, Callao 2022	<p>Hi: El contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico será capaz de mejorar el proceso de selección de residuos sólidos, Callao 2022</p> <p>Ho: El contenedor municipal automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico no será capaz de mejorar el proceso de selección de residuos sólidos, Callao 2022</p>	Mejora del proceso de selección de residuos sólidos	Diferencia de error entre contenedor clásico y automatizado	Diseño cuasi experimental de tipo hipotético y aplicativo.
					2. Método de investigación
					El presente trabajo de investigación será diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo
					3. Población y muestra
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	La población está determinada por los contenedores recicladores existentes en la región Callao
¿Es posible realizar el diseño de una etapa con sensores	Realizar el diseño de una etapa con sensores idóneos	El diseño de una etapa con sensores idóneos logrará la	Diseño del contenedor municipal	Red de sensores	

idóneos para la distinción de diversas clases de desechos?	para la distinción de diversas clases de desechos	distinción de diversas clases de desechos	automático mediante red de sensores y monitoreo inalámbrico		Determinación de la Muestra: 3 contenedores del distrito de Bellavista de la Región Callao
					4. Lugar de estudio y periodo desarrollado
					Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao
					5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos
¿Es posible realizar el diseño de la etapa de monitoreo inalámbrico para la generación de alertas?	Realizar el diseño de la etapa de monitoreo inalámbrico para la generación de alertas	El diseño de la etapa de monitoreo inalámbrico logrará la generación de alertas		Sistema de monitoreo inalámbrico	La técnica de recolección de datos que se utilizará será la observación El instrumento de recolección de datos será la guía de observación consignada por un especialista en residuos sólidos