

Ampliaciones de la automatización industrial

para la mejora del proceso de selección de residuos sólidos en contenedores municipales

Santiago Linder Rubiños Jiménez

Abilio Bernardino Cuzcano Rivas


Adán Almircar Tejada Cabanillas

Fernando Mendoza Apaza

Carlos Andrés Canales Escalante

Carmen Zoila Guillermina López Castro

CIDE
EDITORIAL



Ampliaciones de la automatización industrial

para la mejora del proceso de selección de
residuos sólidos en contenedores municipales

Ampliaciones de la automatización industrial

para la mejora del proceso de selección de
residuos sólidos en contenedores municipales

Autores

Santiago Linder Rubiños Jiménez

Abilio Bernardino Cuzcano Rivas

Adán Almircar Tejada Cabanillas

Fernando Mendoza Apaza

Carlos Andrés Canales Escalante

Carmen Zoila Guillermina López Castro

Ampliaciones de la automatización industrial para la mejora del proceso de selección de residuos sólidos en contenedores municipales

Reservados todos los derechos. Está prohibido, bajo las sanciones penales y el resarcimiento civil previstos en las leyes, reproducir, registrar o transmitir esta publicación, íntegra o parcialmente, por cualquier sistema de recuperación y por cualquier medio, sea mecánico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia o por cualquiera otro, sin la autorización previa por escrito al Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE).

Copyright © 2023

Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador

Tel.: + (593) 04 2037524

<http://www.cidecuador.org>

ISBN: 978-9942-636-35-5

<https://doi.org/10.33996/cide.ecuador.AA2636355>

Dirección editorial: Lic. Pedro Misacc Naranjo, Msc.

Coordinación técnica: Lic. María J. Delgado

Diseño gráfico: Lic. Danissa Colmenares

Diagramación: Lic. Alba Gil

Fecha de publicación: noviembre, 2023



Guayaquil - Ecuador

La presente obra fue evaluada por pares académicos
experimentados en el área

Catalogación en la Fuente

Ampliaciones de la automatización industrial para la mejora del proceso de selección de residuos sólidos en contenedores municipales / Santiago Linder Rubiños Jiménez, Abilio Bernardino Cuzcano Rivas, Adán Almircar Tejada Cabanillas, Fernando Mendoza Apaza, Carlos Andrés Canales Escalante, Carmen Zoila Guillermina López Castro. - Ecuador: Editorial CIDE, 2023.

80 p.: incluye tablas, figuras; 21,6 x 29,7 cm.

ISBN: 978-9942-636-35-5

1. Residuos sólidos-selección 2. Automatización industrial

Semblanza de los autores

Santiago Linder Rubiños Jiménez

Correo: r.rservice@yahoo.es; slrubinosj@unac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-0095-6988>

Doctor en Ingeniería Eléctrica, Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad, Maestro en Gestión Pública, Maestro en Ingeniería Eléctrica con mención en Gestión de sistemas de Energía Eléctrica, Bachiller de la carrera profesional en ingeniería eléctrica. Titulado con experiencia laboral en el área de docencia, Proyectos de Ingeniería e Investigación. Persona formada humanista, científica y tecnológicamente, caracterizada por cualidades, como: Responsable, emprendedor, puntual, comunicativo con capacidad de trabajar en equipo, colaborador, respetuoso y principalmente honrado. Actualmente se desempeña como Director del Instituto de Investigación del Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Callao.



Abilio Bernardino Cuzcano Rivas

Correo: acuzcano75@gmail.com; abcuzcanor@unac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-9823-8740>

Doctor en Ingeniería Eléctrica, Maestro en Ingeniería electrónica con mención en Biomédica, Bachiller de la carrera profesional en ingeniería electrónica. Titulado con experiencia laboral en el área de docencia, Proyectos de Ingeniería e Investigación. Persona formada humanista, científica y tecnológicamente, caracterizada por cualidades, como:



Responsable, emprendedor, puntual, comunicativo con capacidad de trabajar en equipo, colaborador, respetuoso y principalmente honrado. Actualmente se desempeña como director en la unidad de posgrado de la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica de la Universidad Nacional del Callao.

Adán Almircar Tejada Cabanillas

Correo: atejadacabanillas@yahoo.es; aatejadac@unac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-9736-3654>

Doctor en Ingeniería Eléctrica, Maestro en Economía con mención en Métodos Cuantitativos de la Economía y en Ingeniería Eléctrica con mención en Gestión de Sistemas de Energía Eléctrica, Bachiller y Licenciado en Estadística. Directivo académico con una sólida experiencia en liderar y gestionar una Facultad de Ingeniería. 30 años de dedicación al



fomento de la excelencia educativa y el desarrollo de programas innovadores en Ingeniería. Destacado por la mejora de la calidad de la enseñanza-aprendizaje y el aumento de la investigación. Experto en la administración de recursos y la planificación estratégica para el crecimiento sostenible de la Facultad. Comunicador eficaz y líder inspirador, capaz de promover la colaboración entre profesores, estudiantes y personal administrativo. Comprometido con el avance continuo de la facultad y la preparación de futuros líderes en ingeniería. Actualmente se desempeña como director del departamento de Ingeniería Eléctrica y director de escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao.

Fernando Mendoza Apaza

Correo: mastermetric@gmail.com; fmendozaa@unac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0001-7981-8291>

Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional del Callao. Con estudios en Doctorado en Educación; Maestría en Ingeniería Eléctrica, a través del Ministerio de Energía y Minas; Maestría en Telecomunicaciones; Maestría en Ingeniería de Sistemas, con especializaciones y certificaciones en Normas de Calidad ISO9001 Quality Management Systems Associate, ISO/IEC2000 IT Service Management Associate, ISO/IEC27001 Information Security Associate, SCRUM Foundation Professional Certificate y certificación Lean Foundations Professional Certification, Help Desk Professional Certificate HDPC y capacitación en IT Service Management Basado en ITIL 4. Con experiencia en diferentes empresas e instituciones desempeñando funciones en las áreas de Gestión de proyectos y licitación, construcción y ejecución; Adquisición y puesta en marcha de equipos de telecomunicaciones; Control y automatización; Networking; Servidores; Redes Cisco; Radioenlaces Wireless y CATV (Diseño y optimización). En el área Automotriz con conocimientos en Electrónica automotriz, Diagnóstico y mantenimiento con equipos LAUNC. En el área Eléctrica con desempeño en Planeamiento eléctrico, Planeamiento y soporte. En planta, Sistemas de control y automatización neumáticos e hidráulicos, Scada y PLC. En el ámbito Industrial Minero e Impacto Ambiental, mantenimiento de planta e instrumentación. Capacidad en la planificación y organización de actividades dirigidas al cumplimiento de objetivos, manteniendo y estableciendo adecuadas relaciones a todo nivel, conocimientos bajo las normas con efectividad y dedicación a la labor profesional.



Carlos Andrés Canales Escalante

Correo: ccanalese28@gmail.com; cacanalese@unac.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-4029-9997>

Doctorando en Ingeniería Eléctrica, egresado de Maestría en Ciencias de la Electrónica con mención en Ingeniería de Telecomunicaciones y titulado en la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional del Callao. Diplomado en Especialización de Redes en Cisco Certified Networking Associate por Cibertec. Diplomado en Gestión de la Mejora en Investigación, Desarrollo e Innovación en Universidades Públicas. Experiencia laboral en el sector privado en Proyectos de Ingeniería Electrónica y Supervisión en áreas de Tecnologías de la Información. Actualmente se encuentra laborando como Especialista en Investigación en el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional del Callao.



Carmen Zoila Guillermina López Castro

Correo: czglopezc@unac.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0001-9670-308X>

Ingeniera Química egresada de la Universidad Nacional del Callao con Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Capacitación en Habilidades Gerenciales en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Docente en la Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, directora del Centro de Extensión y Responsabilidad Social de la FIEE-UNAC. Miembro de la Defensoría Universitaria UNAC. Elaboración de Proyectos de Responsabilidad Social sobre el Cuidado del Medio Ambiente.



Semblanza de los autores	5
Introducción	14

Capítulo 1

Residuos sólidos municipales

1.1 Introducción al capítulo	17
1.2 Residuos	17
1.3 Residuos sólidos municipales	19
1.4 Gestión de residuos	20
1.5 Manejo de los residuos sólidos municipales	22
1.6 Conclusiones del capítulo	23

Capítulo 2

Automatización industrial con sensores y actuadores

2.1 Introducción al capítulo	25
2.2 Automatización Industrial	25
2.3 Controlador industrial Siemens ® PLC LOGO	29
2.4 Válvulas neumáticas y electroválvulas	30
2.5 Consideraciones finales	34

Capítulo 3

Diseño del sistema automatizado

3.1 Introducción al capítulo	36
3.2 Elección del dispositivo controlador	36
3.3 Elección de la tecnología inalámbrica	38
3.4 Elección de transceptor LoRa	40
3.5 Elección de antena del transceptor LoRa	41
3.6 Gateway LoRaWAN	44
3.7 Diseño estructural del prototipo del contenedor	47
3.8 Diseño lógico de sistema de control inteligente	51
3.9 Implementación de los sensores de proximidad	52
3.10 Implementación del monitoreo mediante indicación de estado contenedor lleno	55
3.11 Envío inalámbrico de la alerta con la ubicación del GPS	58
3.12 Pruebas de reconocimiento de imagen	59
3.13 Pruebas de conectividad y monitoreo remoto del contenedor	63
3.14 Pruebas y comparativas con recolectores municipales convencionales	64
3.15 Población y muestra	65
3.16 Lugar de estudio y periodo desarrollado	65
3.17 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	65
3.18 Análisis y procesamiento de datos	66
3.19 Consideraciones finales	66

Capítulo 4 Resultados

4.1 Introducción al capítulo	68
4.2 Resultados descriptivos	68
4.3 Resultados inferenciales	70
4.4 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	71
4.5 Contrastación de los resultados con otros estudios similares	72
4.6 Consideraciones finales del capítulo	72
Glosario de términos	74
Referencias	77

Introducción

El presente material tiene como propósito dar a conocer 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 en muchas ocasiones al centralismo. El 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 repercuta 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 en este material, el diseño de un sistema que mejore la gestión de recolección y selección de residuos sólidos, sean de naturaleza orgánica o inorgánica, sistema implementado con sensores y actuadores en un contenedor de gran escala con el propósito de realizar una selección por clases: plástico, vidrio, papel y, finalmente, residuos orgánicos. Adicionalmente, el sistema estará controlado con PLC LOGO para el control de las electroválvulas de cada contenedor parcial.

La estructura de este material se ha dividido en cuatro capítulos dedicados a los desechos sólidos municipales, la automatización industrial, el diseño del sistema y, finalmente, destacar los resultados obtenidos.

Capítulo 1

Residuos sólidos municipales



Residuos sólidos municipales

1.1 Introducción al capítulo

El problema de los desechos sólidos se ha agudizado en los últimos años, entre otras razones, por la migración a las grandes ciudades. Estos traen problemas al medio ambiente y a la salud pública, entre otros inconvenientes. De ahí que las municipalidades deben realizar su adecuada gestión. Este capítulo, considerado introductorio, muestra algunas definiciones indispensables que permite al lector conocer la importancia que tiene el reciclaje y la reutilización de los desechos para limitar estos problemas.

1.2 Residuos

Un desecho o basura es un producto resultado de las actividades humanas que ya no tiene valor ni utilidad, 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 (Emgrisa, 2014).

Según su estado físico se clasifican en:

- **Sólidos:** residuos en estado sólido, generalmente no biodegradables.
- **Líquidos:** llamados también aguas residuales, se definen como la mezcla de agua y residuos domésticos
- **Gaseosos:** gases contaminantes a la atmósfera.

Además, 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.

Finalmente, 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.

1.3 Residuos sólidos municipales

Los residuos sólidos municipales (RSM) son residuos de origen doméstico, comercial, aseo y de otros productos urbanos provenientes de actividades que generen restos similares, recolectados por las municipalidades u otras autoridades locales. Generalmente, estos se componen de residuos orgánicos (alimentos, excedentes de comida, cartón, papel, desechos de jardines y otros) e inorgánicos (vidrio plásticos y metales). Algunas veces, estos incluyen desechos peligrosos, incluso nocivos para la salud, como restos de pinturas, productos químicos, baterías y otros.

Cada año se generan cerca de 2.010 millones de ton de desechos sólidos municipales, donde un porcentaje significativo no se gestionan adecuadamente para no causar daño al medioambiente y la salud pública. Por ejemplo 27 países miembros de la Unión Europea, para el periodo de 2016-2021, generaron en promedio per cápita 530 kg/año, fijándose como objetivo que el 60% de estos residuos sean reciclados o reutilizados (Europeo, 2023).

Por otro lado, la gestión de RSM en Perú es un problema escalable. Es común observar en las calles de Lima Central cúmulos de desechos urbanos, problema agudizado por la migración a las principales regiones urbanas del país. Los 30 millones de habitantes de Perú generan un promedio de 21.000 ton de RSM cada día, es decir, que equivale a 0,8 kg de residuos per cápita (SINA, 2009). 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. Además, esto 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.

1.4 Gestión de residuos

La gestión de residuos es uno de los pasos para lograr reducir o eliminar las emisiones de gas de efecto invernadero. Entre los principales beneficios para el medio ambiente se encuentran (Incinerox, s.f.):

1. **Reduce la huella ecológica:** la huella ecológica es un indicador clave para la sostenibilidad del planeta, porque mide el impacto ambiental de la actividad humana. El principio general es el deseo de cuidar el medioambiente, por eso en el ámbito industrial, así como al nivel del Estado, se deben buscar procesos para cumplir con este propósito. Una

buena política ambiental dentro y fuera de la empresa, en cada uno de los procesos de producción y comercialización potencia la imagen ante la sociedad y los consumidores.

2. **Uso eficiente de recursos:** con la implementación de un sistema de gestión adecuada de residuos, se podrán usar sus recursos de manera eficiente, es decir, consumir o usar que sean realmente necesarios. En este marco, se recomienda aplicar sistemas de reciclaje y reutilización de residuos. Pues se estima que las emisiones de producir un nuevo producto a partir de materiales reciclados, es un 20% menor que si provienen de nuevos materiales. Esto permitiendo dejar de lado el modelo actual de materiales de un solo uso que se convierten en desechos que continúan acumulándose en los vertederos.
3. **Incrementa la vida útil de los sistemas de relleno sanitario:** al tener una mala gestión de residuos los vertederos se llenan sin control alguno y se sobresaturan con rapidez. En consecuencia, se continúan construyendo más rellenos y los desechos se acumulan sin recibir la gestión adecuada, emitiendo altas cantidades de gases de efecto invernadero. El correcto manejo de residuos permite que se reduzca la cantidad de desechos que se acumulan en los rellenos sanitarios, aumentando su vida útil.

4. **Se protegen los recursos naturales:** la gestión adecuada de residuos en conjunto permite proteger los recursos naturales renovables y no renovables. Esto debido a que se renuncia al modelo económico actual de consumir y desechar y se buscan alternativas más sostenibles. La recuperación y revalorización de residuos permite que se obtengan materia prima que se pueda volver a utilizar sin explotar al medio ambiente.

5. **Reduce la contaminación:** una adecuada gestión de residuos reduce la contaminación del medio ambiente, por el simple hecho de que son menos los residuos expuestos en el exterior que deterioran la salud del suelo, del aire y del agua.

1.5 Manejo de los residuos sólidos municipales

Según el Gobierno de México (gob.mx, 2017), el manejo de los residuos sólidos incluye toda actividad técnica operativa de los residuos sólidos, que involucra el manipuleo, acondicionamiento, transporte, transferencia, tratamiento, disposición final o cualquier otro procedimiento técnico operativo desde la generación hasta la disposición final.

Según el Ministerio de Ambiente en Perú (Sinia, 2017), en sólo 4 pasos los municipios pueden realizar una gestión responsable de residuos sólidos municipales:

1. Minimización de los residuos y eficiencia en el uso de materiales.
2. Segregación de residuos sólidos en la fuente.
3. Recolección selectiva de los residuos sólidos.
4. Valorización de residuos.

1.6 Conclusiones del capítulo

Son diversas las clasificaciones a los desechos y todos estas llevan a que pueden atentar contra la salud pública y el medio ambiente. La acumulación de los desechos sólidos en las regiones y países del mundo se ha incrementado, lo que hace indispensable su gestión. La gestión de desechos sólidos corresponde a las municipalidades, las cuales puede implementar acciones que les permitan su reducción. Esto trae diversos beneficios, como la optimización de los recursos naturales y el incremento de la vida útil de los vertederos. Todo esto trae un impulso importante a las actividades como el reciclaje y reutilización de puedan hacer para desacelerar el crecimiento de estos desechos.

Capítulo 2

Automatización industrial con sensores y actuadores



Automatización industrial con sensores y actuadores

2.1 Introducción al capítulo

La automatización industrial trae importantes beneficios como el ahorro de las horas de trabajo, exactitud en los procesos, disminución de los riesgos potenciales de los operadores de los sistemas y otros. El presente capítulo se ha dedicado a los beneficios de esta automatización y de los equipos sensores actuadores que asistente en los procesos de control y otros.

2.2 Automatización industrial

La automatización industrial es la monitorización y control de maquinarias mediante el uso de tecnologías innovadoras. Esto se logra a través de sensores, transmisores de campo, sistemas de control, software y recolección de datos. El objetivo es reducir costos y perfeccionar la producción sin la necesidad de intervención humana. Entre sus beneficios tenemos (Nexusinterga, s.f.):

- **Repetición constante de tareas:** gracias a la introducción de software y tecnologías que permiten la automatización de procesos industriales, la producción no genera errores y no se detiene en ningún momento. Es decir, se produce las 24 horas del día. Este tipo de sistemas de automatización y control están especialmente indicados para aquellas fábricas con producción estacional en las que haya picos de producción continuada.
- **Mayor calidad de producción:** esta ventaja se interrelaciona con la anterior, ya que gracias a la automatización de procesos dentro de la Industria 4.0, el trabajo del operador y el desarrollo del proceso productivo se llevan a cabo sin errores ni tiempos muertos.
- **Reducción de costos:** implantar soluciones de automatización industrial en una empresa agiliza el trabajo, el tiempo y el dinero. Por lo tanto, es un proyecto que, más allá de la inversión que es necesario realizar, genera beneficios prácticamente desde el momento de su implantación. El procesamiento de la información de toda la producción se hace mucho más rápido, con lo que la introducción de nuevos productos, sistemas o retoques es prácticamente instantánea.
- **Control de todos los procesos:** otra de las ventajas de introducir sensores en los dispositivos industriales es que permiten monitorizar en tiempo real todos los datos del proceso de

producción. De esa forma, cualquier anomalía que sea produzca se puede detectar prácticamente al instante y de forma efectiva para solucionarse.

- **Reparación remota:** la automatización y control industrial también supone una mayor agilización en las tareas de mantenimiento para las grandes empresas. Sobre todo, aquellas que tengan diferentes sedes en otros países, ya que, con los dispositivos de automatización industrial y control en tiempo real, se pueden detectar los errores de forma instantánea para corregirlos incluso de forma remota.
- **Mayor seguridad para los empleados:** automatizar procesos industriales supone una mayor seguridad y comodidad para los trabajadores. Se acabó el cargar con grandes pesos, soportar temperaturas elevadas o gestionar de forma directa productos altamente peligrosos (relacionados con la química o la radioactividad).
- **Uso eficiente de la energía y la materia prima** utilizada para el producto, al controlar minuciosamente todo el proceso productivo.
- **Producción flexible y escalable** dependiendo de las necesidades del mercado.

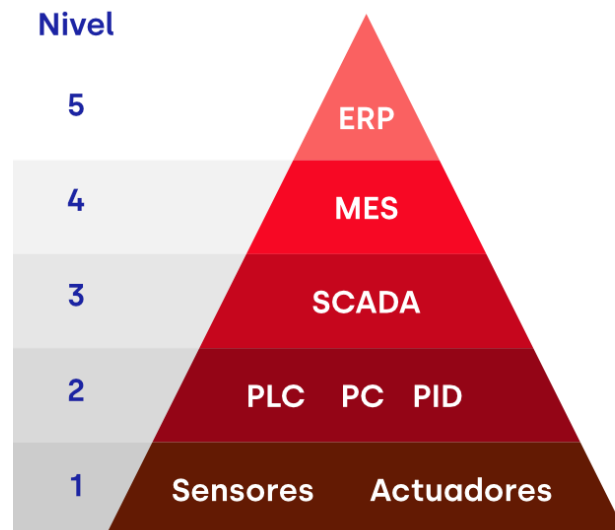
Como se comenta anteriormente, los sensores y actuadores son una parte integral de cualquier sistema de control de automatización industrial. De hecho, representan los niveles de campo de la pirámide de la

automatización, como se muestra en la Figura 1. En este marco, los sensores son los sentidos del sistema de control y le proporcionan información sobre lo que está sucediendo. Por otro lado, los actuadores son sus manos 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. Por otro lado, 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) (Peñarredonda, 2013).

Figura 1.

Pirámide de la automatización industrial.



Nota. Adaptado de (Overtel, s.f.)

2.3 Controlador industrial Siemens® PLC LOGO

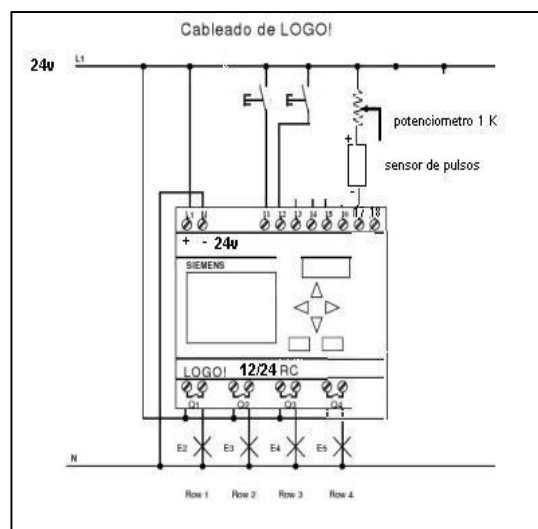
El PLC LOGO de la empresa SIEMENS® es un dispositivo o módulo lógico inteligente capaz de controlar múltiples variables de salida mediante el acondicionamiento de las entradas (Horowitz, 2018), como se muestra en la Figura 2. Los componentes son los siguientes:

- ⊙ 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 2.

Estructura interna de un PLC LOGO.



Nota. Adaptado de (Vera, 2018)

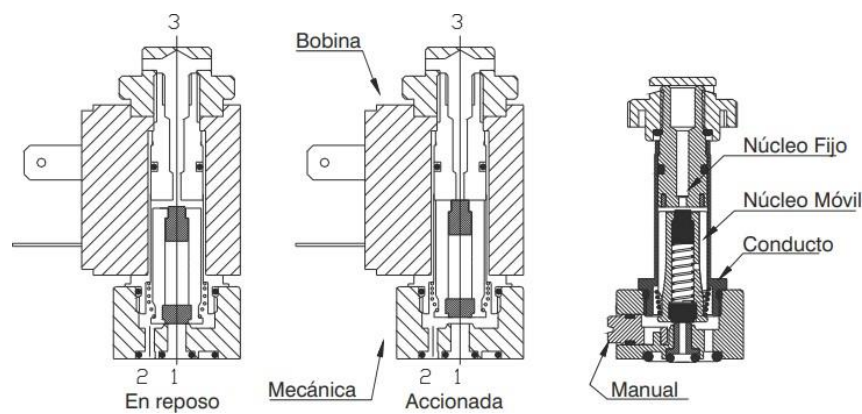
2.4 Válvulas neumáticas y electroválvulas

Las válvulas de accionamiento mecánico y manual regulan el flujo de aire comprimido a los componentes conectados en los sistemas neumáticos.

Se denominan válvulas de control direccional y se clasifican por dos números como 3/2 vías, 5/2 vías y 5/3 vías (McGillivray, 2022). El primer número indica el número de puertos y el segundo los estados, como se muestran en la Figura 3.

Figura 3.

Tipos de válvula



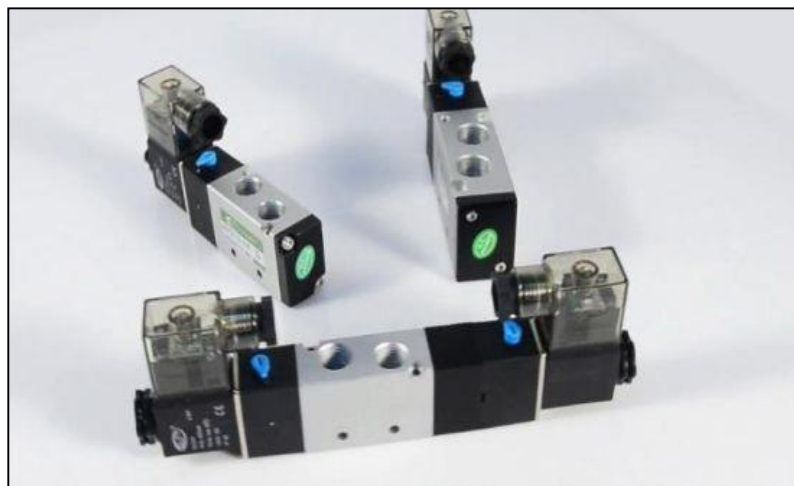
Las electroválvulas son dispositivos que responden a pulsos eléctricos. Gracias a la corriente que circula a través del solenoide. Es así como es posible cambiar su posición controlando, de esta forma, la dirección del fluido (Murcia & Rojas, 2015). Entre estas encontramos la electroválvula de mando directo.

La electroválvula de mando directo, como indica el término, envía 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 (ejemplo, en caso de búsqueda de averías), pueden ser sólo 2/2 y 3/2 (normalmente abiertas o cerradas), como se muestra en la Figura 4 (González, 2016).

Figura 4.

Modelo de electroválvula



Nota. Adaptado de (Medina & V, 2017)

Un controlador lógico programable más conocido por sus siglas en

inglés es el PLC. Su campo de aplicación es muy diverso e incluye varios tipos de industrias (ejemplo, 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 (González, 2016). Un ejemplo de un PLC se muestra en la Figura 5.

Figura 5.

PLC Logos de Siemens®



Nota. Adaptado de (SIEMENS, s.f.)

2.5 Consideraciones finales

El presente capítulo muestra la importancia que tiene la automatización industrial y el uso de los PLC, sensores y actuadores para mejorar la eficiencia de los procesos industriales. Todo este tipo de dispositivos son los que hacen hoy que la vida en sociedad sea más confortable y, como el caso que veremos a continuación, como pueden optimizar otros procesos.

Capítulo 3

Diseño del sistema automatizado



Diseño del sistema automatizado

3.1 Introducción al capítulo




Son diversos los sistemas automatizados que existen actualmente, sin embargo, este material ha sido dedicado a la labor de reducir los desechos sólidos municipales, a con la ayuda de un PLC, sensores y actuadores.




3.2 Elección del dispositivo controlador

Para la etapa de Procesamiento se realiza 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 (dBm)	17	20	20.5
Umbral de Recepción	-88 dBm (11Mbps)	-91 dBm (11Mbps)	-93 dBm (MSC0, HT20)
Voltaje de Alimentación (V)	3.3 – 1.2	3.3	3.3
Frecuencia de Operación CPU	Depende del microprocesador que se utilice	160 Mhz	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/UDHTTP/FTP/	Ipv4, Ipv6,SSL, TCP/UDP HTTP/FTP/WQTT
Microprocesador	Depende del modelo	16 bits	32 bits
Consumo de Corriente mínimo (mA)	250	80	80
Consumo de Corriente máximo (mA)	No especifica	250	250
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

PARÁMETROS	DISPOSITIVO CONTROLADOR		
	SHIELD WI-FI ARDUINO HDG204	ESP8266 NODEMCU	ESP32 WROOM-32
			
Modo ahorro de Energía	Power Save Mode	Ultra-Low Power	Low Power
Costo (dólar)	ALTO (80)	BAJO (11)	BAJO (12)
Disponibilidad en Perú	SI	SI	SI

Uno de los principales inconvenientes del dispositivo Arduino Shield (ARDUINO, s.f.) 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 250 mA en comparación con 80 mA 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.

3.3 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 las diferentes 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) 20 km (rural)	1 -75 m	50-100 m	Depende de la operadora
Memoria	243 bytes	32-60 kB	100 kB	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.

Actualmente, 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.

3.4 Elección de transceptor LoRa

Después de analizar las diferentes tecnologías inalámbricas de la Tabla 2 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 6 se muestra la imagen del transceptor utilizado en el presente proyecto de investigación.

Figura 6.

Transceptor LoRa RFM95W de 915 MHz



Nota. Adaptado de (electrodex, s.f.)

3.5 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 LoRa WAN. 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 (5) 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.

Tipo de antena	Ventajas	Desventajas
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.

Luego de analizar el costo, tamaño y rendimiento de cada antena se elige a la antena helicoidal como la antena que se ubicará 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.

3.6 Gateway LoRaWAN

Se realiza 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 FaithF8L10GW	Rak Wisdevice 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.

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 o de lo 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 Fait - F8L10G	Rak Wisdevice – RAK7249	Dragino- OLG02
Potencia máxima	Menor a 25 dBm	1			
	Mayor igual a 25 dBm	2	2	2	1
Sensibilidad de recepción	Mayor igual a -140 dBm	1			
	Menor a -140 dBm	2	1	2	2
Puerto de comunicaciones de salida	Externo	1			
	Integrado	2	2	2	2
Tipo de comunicación de salida	LTE (banda 2,4)	1			
	LTE (banda 2,4, 28)	2	1	1	1
Potencia de consumo	Mayor igual a 25 W	1			
	Menor a 25 W	2	2	2	2
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	No indica	0			
	Menor igual a 180,000horas	1	0	0	0
	Mayor a 180,000 horas	2			
Grado de protección	No indica	0			
	IP-66	1	2	2	2
	IP-67	2			
Costo de referencia	Mayor igual a \$700	1	1	2	2

Características	Escala	Puntaje	Modelos		
			Four Fait – F8L10G	Rak Wisdevice – RAK7249	Dragino– OLG02
	Menor a \$700	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.

3.7 Diseño estructural del prototipo del contenedor

Se realiza un diseño estructural basado en un recolector convencional municipal, los cuales presentan el tamaño de aproximadamente 1.5 m de alto y 2 m de largo, el mismo que fue realizado en el programa SketchUp, que se muestra en la Figura 7.

Figura 7.

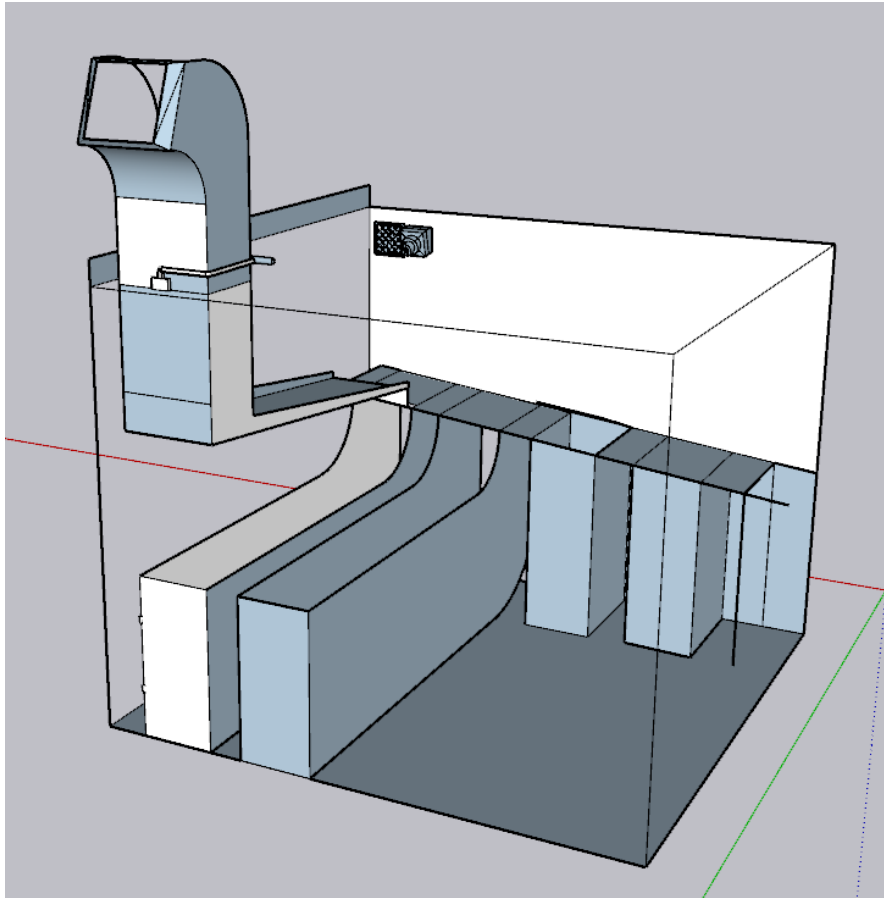
Contenedores municipales actuales



Se observa 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 cuatro (4) contenedores en uno (1) solo, con el objetivo de poder realizar la muestra del error, como muestra la Figura 8.

Figura 8.

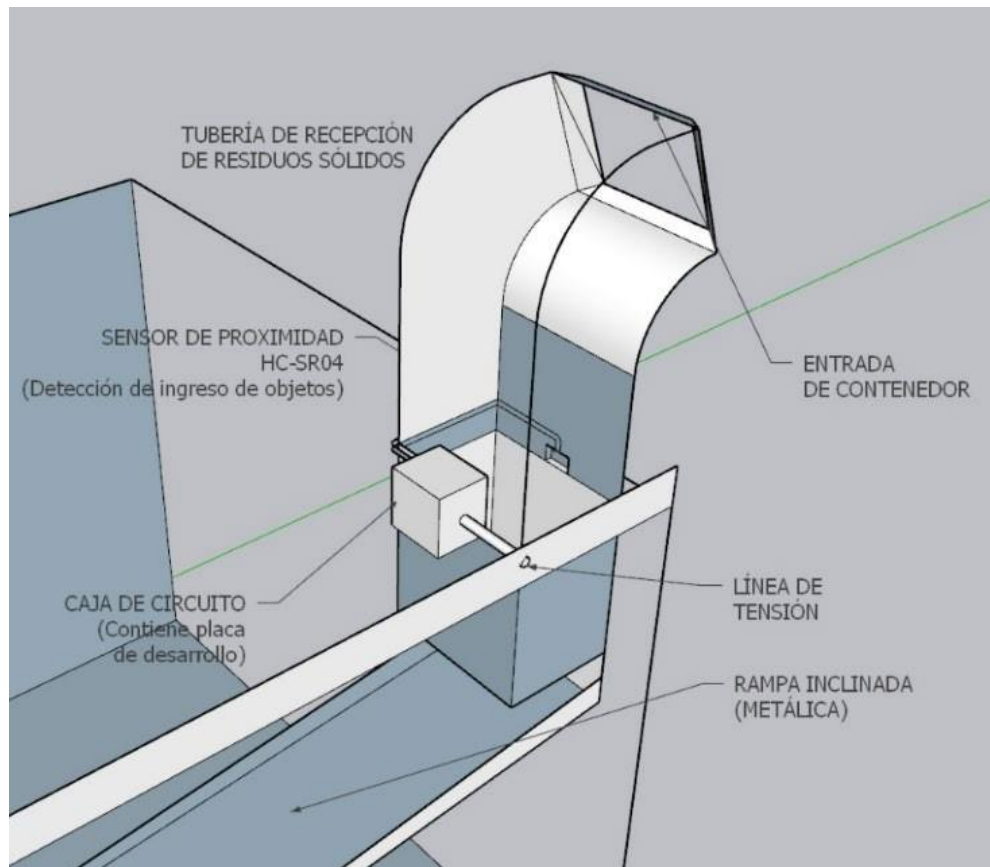
Diseño estructural del contenedor



La etapa de ingreso del residuo sólido es escaneada por un sensor ultrasonido HC-SR04 tal como muestra Figura 9, el cual activa una interrupción al microcontrolador para iniciar el funcionamiento del sistema.

Figura 9.

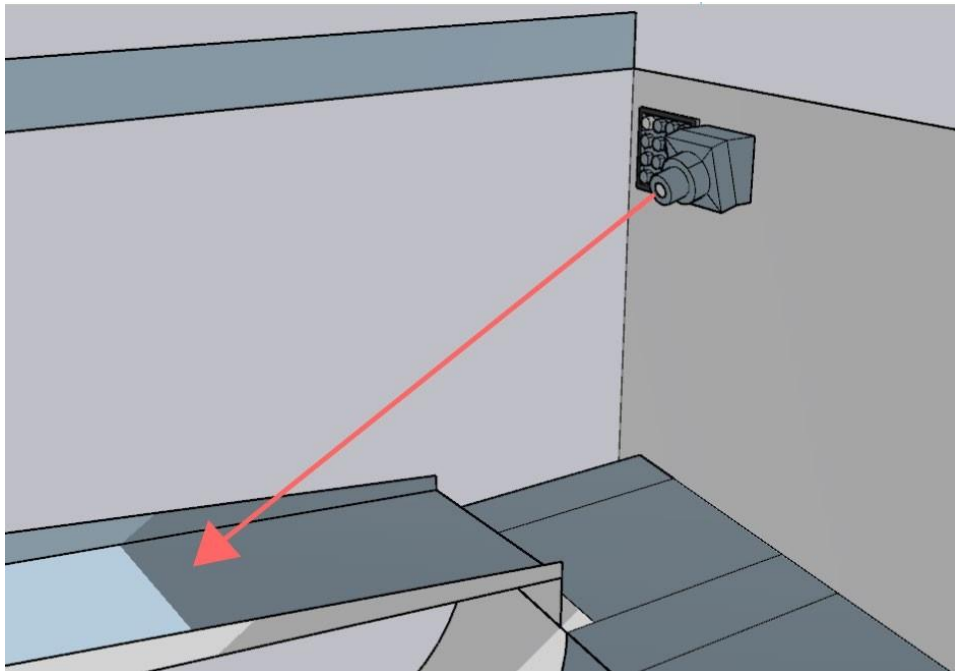
Principio de funcionamiento del sensor HC-SR04



Es por ello que se diseña un (1) 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 10.

Figura 10.

Ubicación de cámara



3.8 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 sólo se consideraron los siguientes ítems de clasificación:

- a) Plástico y vidrio.
- b) Papel.
- c) Cartón.

Se esquematizan en cuatro (4) secciones para esta etapa: la

implementación de los sensores, el monitoreo, el envío inalámbrico de la alerta y la clasificación de los residuos.

3.9 Implementación de los sensores de proximidad

Se opta por el sensor HC-SR04 de la Figura 11 con el microcontrolador Atmega328P 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.

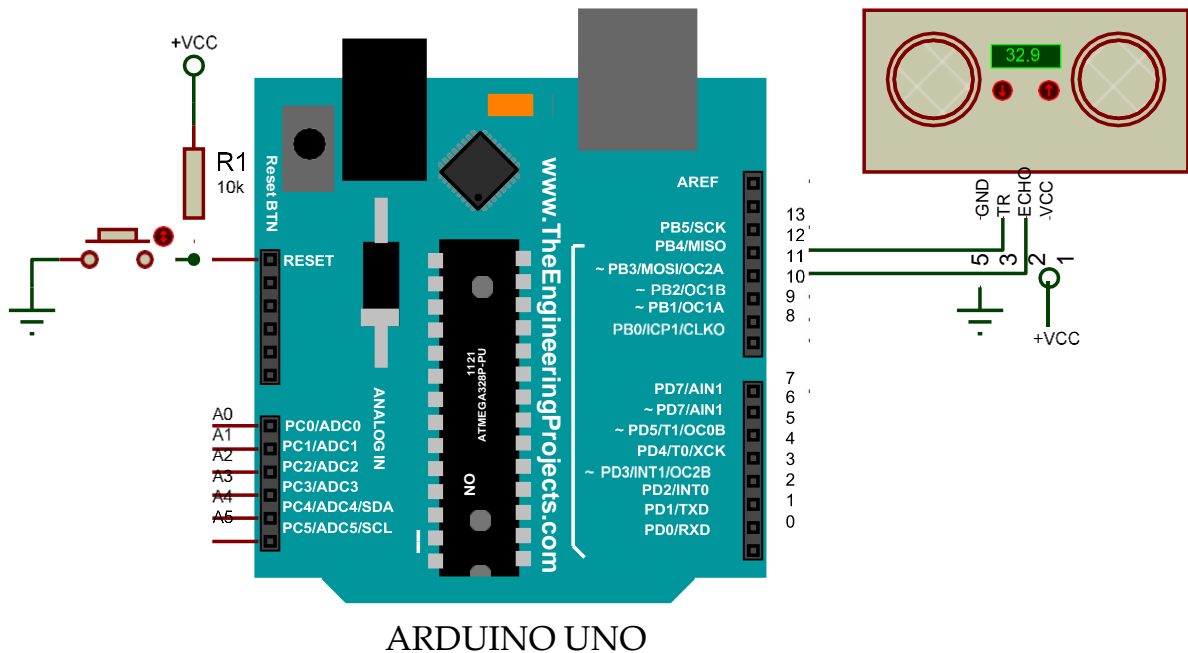
Figura 11.

Sensor HC-



Figura 12.

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 fórmula anterior tenemos:

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

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

El sensor HC-SR04 se programa 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);}

```

3.10 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 12.

Figura 12.

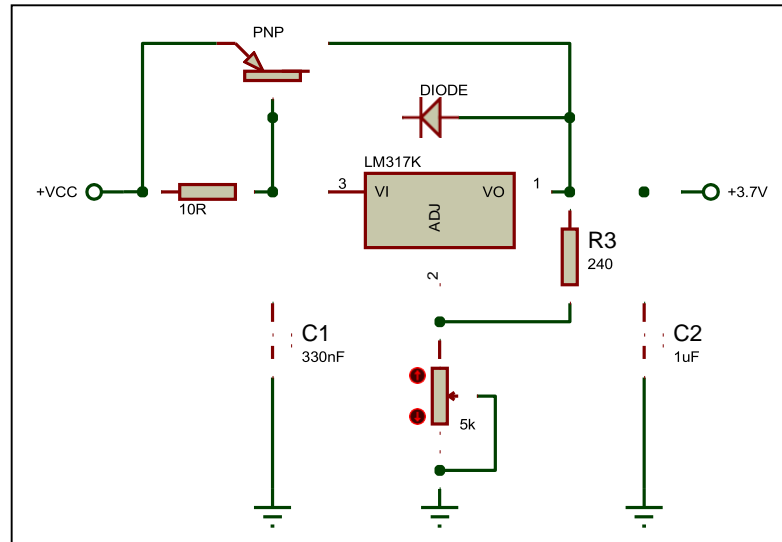
SIM 800L con antena de 3 dBi



Para la alimentación del módulo, se utiliza 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 13 muestra el esquemático.

Figura 13.

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());
  }
}
```

3.11 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("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());
    }
}
}

```

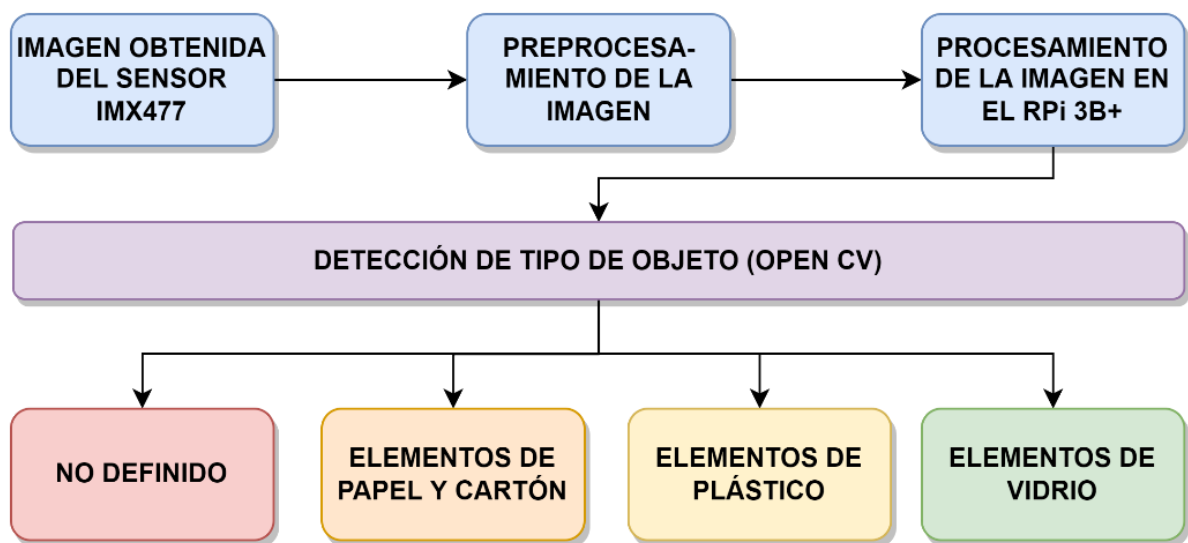
3.12 Pruebas de reconocimiento de imagen

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 14.

Figura 14.

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 15, que detecta el tipo de material u objeto para ser procesado y clasificado.

Figura 15.

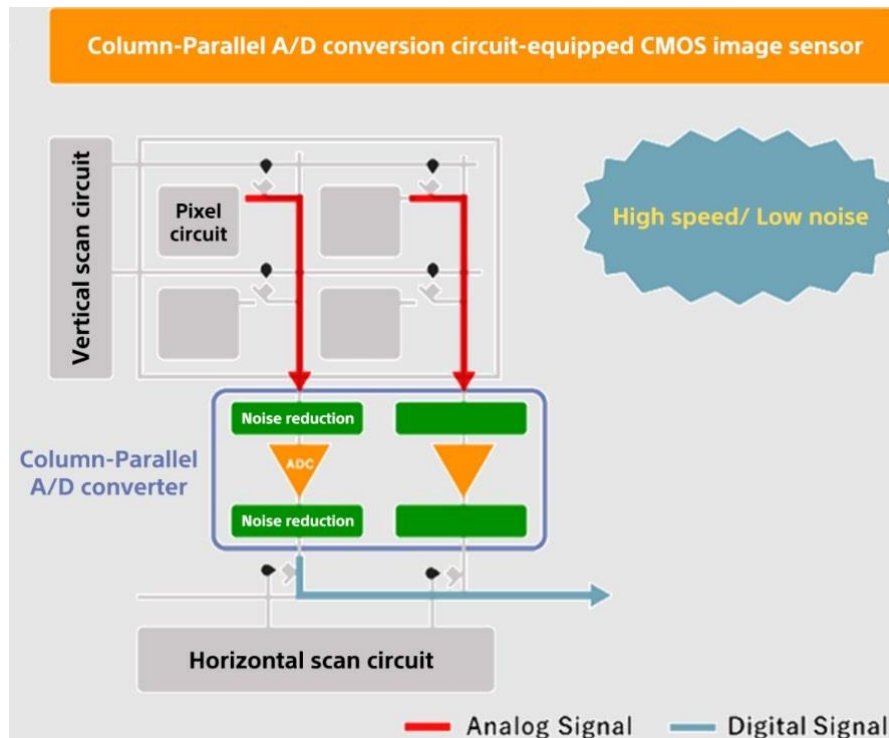
Sensor de cámara IMX477



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 tal como muestra la Figura 16.

Figura 16.

Diagrama de bloques del conversor A/D.



La ventaja que 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.

3.13 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 7.

Tabla 7.

Pruebas de funcionamiento del aplicativo

	Tiempo derespuesta	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

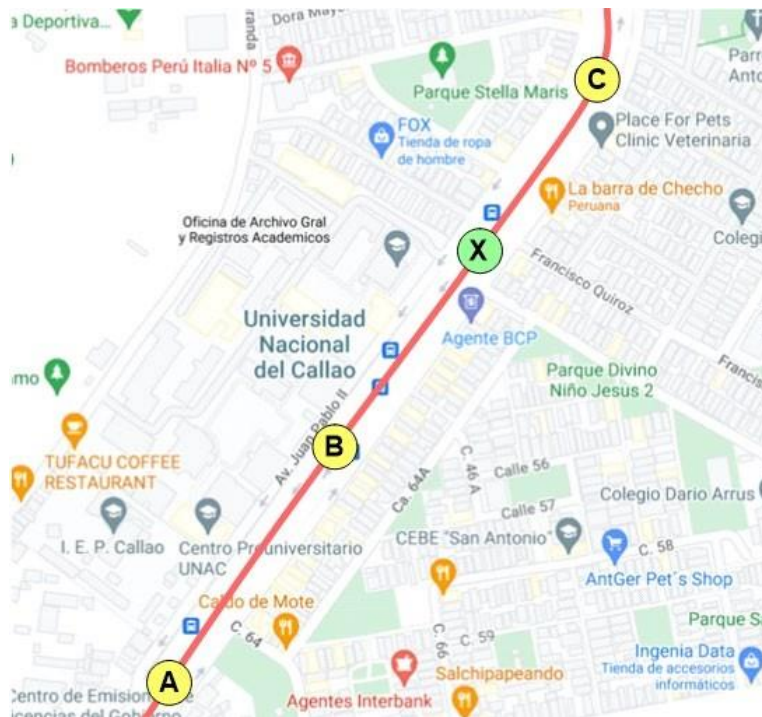
Existe una variación media de 7.1 s por cada 10% de volumen variado, ello brindó una respuesta de 0.71 s de reacción del sistema para detectar un objeto al momento de caer en los bloques de llenado.

3.14 Pruebas y comparativas con recolectores municipales convencionales

Se realizaron pruebas de comparación entre las corridas realizadas durante 1 semana de tres (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 14.

Localización de contenedores



3.15 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.

3.16 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.

3.17 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.

3.18 Análisis y procesamiento de datos

Se realiza 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.

3.19 Consideraciones finales

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.

Capítulo 4

Resultados



Resultados

4.1 Introducción al capítulo

4.2 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
1º día	24.457	20.500	28.377	5.010
2º día	24.018	23.020	23.165	6.230
3º día	14.890	27.941	27.010	4.950
4º día	29.630	17.948	30.230	5.260
5º día	26.323	30.250	27.612	4.780
6º día	22.711	23.106	22.631	5.400
7º 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
1º día	24.793	24.900	25.609	5.010
2º día	23.029	29.887	29.201	6.230
3º día	20.325	21.379	30.350	4.500
4º día	24.377	28.686	24.062	6.230
5º día	29.799	21.796	22.896	5.260
6º día	28.814	26.626	25.794	4.140
7º 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
1º día	19.023	24.246	18.198	5.010
2º día	19.708	28.623	22.994	6.230
3º día	19.101	31.933	14.108	4.910
4º día	18.572	29.484	22.782	5.860
5º día	20.169	10.061	28.313	5.970
6º día	19.96	24.938	26.869	5.620
7º día	15231	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
	18.714	19.438	18.655	18.667

4.3 Resultados inferenciales

Los resultados de la validación de la medición se realizaron obteniendo las siguientes tasas de error según la Tabla 12:

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 15.

Figura 15.

Resultados de medición del Sensor HC-SR04

```
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: 33.28 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
```

4.4 Contratación 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.

4.5 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Respecto con la investigación de Diaz, Colorado y Caldas (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 y López (2018), 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.

4.6 Consideraciones finales del capítulo

- 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.



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 básico deseados son lineal y rotativo, pero también es común el movimiento oscilatorio.

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.

Actuadores hidráulicos: utilizan líquidos como aceites para generar movimientos donde se requiere de una mayor fuerza, por manejar cargas pesadas.

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.

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.

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.



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.



PLC: un PLC es un Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller), en sí es un sistema de control. Estos 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.

Referencias

- ARDUINO. (s.f.). *Shields & Carriers*.
<https://store.arduino.cc/collections/shields-carriers>
- Electrodex. (s.f.). *Transceptor LoRa*.
<https://www.eletrodex.net/placasmodulos/modulos/diversos/modulo-transceptor-longo-alcance-lora-drf1278-433mhz-sx1278>
- Emgrisa. (21 de 10 de 2014). *Tipos de residuos: clasificación*.
<https://www.emgrisa.es/publicaciones/tipos-de-residuos/>
- Europeo, P. (26 de 06 de 2023). *Noticias Parlamento Europeo. Gestión de residuos en la UE: hechos y cifras*.
<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180328STO00751/gestion-de-residuos-en-la-ue-hechos-y-cifras-infografia>
- gob.mx. (01 de 03 de 2017). *Residuos sólidos urbanos y de manejo especial*.
<https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-y-de-manejo-especial>
- González, A. (2016). Impacto medioambiental de la integración de la computación en la nube y la internet de las cosas. *Producción + Limpia*, 22-30. doi:<https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a2>.
- Horowitz, L. M. (2018). *Telemetría de contenedores de residuos*. Universidad ORTUruguay.
- Incinerox. (s.f.). *5 Beneficios de una adecuada gestión de residuos para el medio ambiente*. <https://incinerox.com.ec/5-beneficios-de-una-adecuada-gestion-de-residuos-para-el-medio-ambiente/>
- Mazi Melara, C.O. y López Guardado, W. A. (2018). *Diseñar un basurero*

inteligente para la modernización y erradicación de la basura en centro escolar
Nicolás J. Bran. [Tesis, Universidad Tecnológica de el Salvador].

McGillivray, R. (22 de 01 de 2022). *TAMESOL. Válvulas neumáticas de accionamiento mecánico y manual*. <https://tameson.es/pages/valvulas-neumaticas-de-accionamiento-mecanico-y-manual>

Medina, L., & V, F. (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. Memorias de la Fundación Sala de Ciencias* .

Murcia, D., & Rojas, A. (2015). *Diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica remota de bajo costo empleando el enfoque de internet de las cosas*. Univerisdad Piloto de Colombia. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/1008>

Nexusintergra. (s.f.). *10 beneficios de la automatización industrial*. <https://nexusintegra.io/es/10-beneficios-de-contar-con-un-sistema-de-automatizacion-industrial/>

Overtel. (s.f.). *Automatización de fábrica ¿qué es y cómo funciona?* <https://overtel.com/blog-3/automatizacion-de-fabrica-que-es-y-como-funciona>

Peñarredonda, J. (2013). *Tecnología y cultura digital*. <http://www.enter.co/cultura-digital/ciudadinteligente/la-tecnologia>

SIEMENS. (s.f.). *PLC, LOGO V8 12/24 RCE SIEMENS – Display – 8 Entradas 12-24VDC/4 Salidas relé – 12-24VDC*. https://obinu.cl/index.php?id_product=160132&rewrite=plc-logo-v8-12-24-rce-siemens-display-8-entradas-12-24vdc-4-salidas-rele-12-24vdc&controller=product

SINA. (2009). *Informe anual de residuos sólidos municipales y no municipales en*


Perú. Ministerio de Ambiente. Viceministerio de Gestión Ambiental.

Sinia. (10 de 2017). *Material educativo: gestión responsable de residuos sólidos municipales*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/gestion-responsable-residuos-solidos-municipales>

Vera, C. (2018). *Diseño de un sistema de contenedores inteligentes para mejorar la recolección de residuos sólidos domiciliarios en el distrito de San Martín de Porres*.

CIDE

EDITORIAL



ISBN: 978-9942-636-35-5



9789942636355