



ESCUELA DE COMUNICACIONES
CIENCIA DOMINIO VIGILANCIA



REVISTA CIENTÍFICA

TECNO ESCOM

Agosto 2025

Volumen No. 7

PERIODICIDAD ANUAL

Facatativá, Cundinamarca

CÓDIGO ISSN 2711-0761

Es un honor presentar ante nuestra comunidad académica y científica el Séptimo Volumen de la Revista Científica TECNOESCOM. Esta edición representa el firme compromiso institucional con la investigación, la excelencia formativa de nuestros estudiantes y la destacada trayectoria de nuestro cuerpo docente. En sus páginas, se recoge el fruto del trabajo colaborativo de autores vinculados a los programas de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Tecnología en Supervisión y Mantenimiento de Sistemas de Comunicación e Informática, así como a las Especializaciones en Ciberseguridad y en Gerencia de TIC, de la Escuela de Comunicaciones.

Los contenidos aquí reunidos abordan temáticas relevantes y de alto impacto en contextos reales, que van desde soluciones tecnológicas aplicadas al ámbito militar y civil, hasta desarrollos orientados hacia la sostenibilidad ambiental y la mejora de la conectividad en zonas estratégicas. También se presentan análisis sobre tendencias emergentes en telecomunicaciones, inteligencia artificial y dispositivos inteligentes, al igual que experiencias de innovación, impulsadas por jóvenes investigadores comprometidos con la transformación tecnológica y social.

Desde estas páginas, invitamos cordialmente a la lectura de los valiosos contenidos de la presente edición de TECNOESCOM, organizada en tres secciones esenciales. La primera, Artículos de Investigación, la cual presenta resultados de proyectos que responden a necesidades reales, mostrando soluciones innovadoras y aplicadas. Seguidamente, los Artículos de Revisión Bibliográfica, que ofrecen una visión profunda sobre nuevos paradigmas y evaluaciones exhaustivas de tecnologías emergentes, analizando sus implicaciones y desafíos futuros. Y, por último, los Artículos de los Semilleros de Investigación, mismos que presentan el desarrollo de prototipos con aplicación de inteligencia artificial, reflejando el compromiso de las nuevas generaciones con la investigación aplicada y su contribución a soluciones de impacto social.

Desde la Dirección de la Escuela de Comunicaciones y el Comité Editorial, extendemos una cordial invitación a explorar esta nueva entrega de la Revista de Divulgación Científica TECNOESCOM. Estamos seguros de que los contenidos aquí reunidos no solo aportarán conocimiento valioso, sino que también inspirarán nuevas ideas, diálogos académicos y propuestas innovadoras que contribuyan al avance científico y tecnológico de nuestra comunidad.



Escuela de Comunicaciones Militares
www.escom.edu.co

REVISTA CIENTÍFICA

TECNOESCOM

ESCUELA DE COMUNICACIONES MILITARES

CIENCIA, DOMINIO Y VIGILANCIA



Teniente Coronel Julio César Villanueva Méndez
Director Escuela de Comunicaciones

Mayor Óscar Herrera Zarta
Subdirector Escuela de Comunicaciones

Mayor Andrés Camilo Peña Martínez
Inspector de Estudios ESCOM

Capitán Janier Doney Useche Moreno
Oficial Centro de Investigación ESCOM

Ms. Adriana B. González Guerrero
Editora Revista TECNOESCOM CEINV – ESCOM

Equipo CEINV-ESCOM
Corrector de Estilo

Capitán Janier Doney Useche Moreno
Ms. Wilson Gómez
Comité Evaluador

OPS. Y. Elizabeth Fajardo Bejarano
Diseño, Diagramación y Fotografía

Dirección: Carrera 5 Calle 15 - 00 Barrio Dos Caminos
Teléfono: 313 300 3799

“Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización del Comité Editorial; las ideas y conceptos expresados en cada uno de los artículos publicados, pertenecen exclusivamente a sus autores y en ningún momento reflejan la postura oficial de la institución.

Nos reservamos el derecho de publicar los artículos seleccionados por el Comité Evaluador”.

**Foto portada: Proyecto “Prototipo de desbrozadora semiautomatizada para césped con empleo en terreno plano o semiplano en el Cantón Militar de Comunicaciones de Facativá.”. Investigación elaborada por egresados del Programa Tecnología en Supervisión de Mantenimiento de Sistemas de Comunicaciones e Informática: Tec. Fabián Esteban Mellizo Quintero y Tec. Jeisson Albert Rojas Reyes.*

EDITORIAL

VOLUMEN 7 | JUNIO DE 2025

Es un honor presentar ante nuestra comunidad académica y científica el Séptimo Volumen de la Revista Científica TECNOESCOM. Esta edición representa el firme compromiso institucional con la investigación, la excelencia formativa de nuestros estudiantes y la destacada trayectoria de nuestro cuerpo docente. En sus páginas, se recoge el fruto del trabajo colaborativo de autores vinculados a los programas de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, Tecnología en Supervisión y Mantenimiento de Sistemas de Comunicación e Informática, así como a las Especializaciones en Ciberseguridad y en Gerencia de TIC, de la Escuela de Comunicaciones.

Los contenidos aquí reunidos abordan temáticas relevantes y de alto impacto en contextos reales, que van desde soluciones tecnológicas aplicadas al ámbito militar y civil, hasta desarrollos orientados hacia la sostenibilidad ambiental y la mejora de la conectividad en zonas estratégicas. También se presentan análisis sobre tendencias emergentes en telecomunicaciones, inteligencia artificial y dispositivos inteligentes, al igual que experiencias de innovación, impulsadas por jóvenes investigadores comprometidos con la transformación tecnológica y social.

Desde estas páginas, invitamos cordialmente a la lectura de los valiosos contenidos de la presente edición de TECNOESCOM, organizada en tres secciones esenciales. La primera, Artículos de Investigación, la cual presenta resultados de proyectos que responden a necesidades reales, mostrando soluciones innovadoras y aplicadas. Seguidamente, los Artículo de revisión bibliográfica, que ofrecen una visión profunda sobre nuevos paradigmas y evaluaciones exhaustivas de tecnologías emergentes, analizando sus implicaciones y desafíos futuros. Y, por último, los Artículo de los semilleros de investigación, apartado que presenta el desarrollo de prototipos con aplicación de inteligencia artificial, reflejando el compromiso de las nuevas generaciones con la investigación aplicada y su contribución a soluciones de impacto social.

Desde la Dirección de la Escuela de Comunicaciones y el Comité Editorial, extendemos una cordial invitación a explorar esta nueva entrega de la Revista de Divulgación Científica TECNOESCOM. Estamos seguros de que los contenidos aquí reunidos no solo aportarán conocimiento valioso, sino que también inspirarán nuevas ideas, diálogos académicos y propuestas innovadoras que contribuyan al avance científico y tecnológico de nuestra comunidad.

Director de la Escuela de Comunicaciones
Teniente Coronel Julio César Villanueva Méndez

“La verdadera ignorancia no es la ausencia de conocimiento, sino la negativa a adquirirlo”
(Karl Popper)

CONTENIDO

1.

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Prototipo de desbrozadora semiautomatizada para césped con empleo en terreno plano o semiplano en el Cantón Militar de Comunicaciones de Facatativá.

Fabián Esteban Mellizo Quintero, Jeisson Albert Rojas Reyes.

7

Red neuronal para el reconocimiento del arma SA-P92 ubicada en la superficie inferior de los vehículos.

Andrés Felipe Rodríguez Sánchez, Yeison Alfonso Buitrago Rojas.

22

Desarrollo de un prototipo biodigestor electrónico para la obtención de biogás a partir de pollinaza destinado a la crianza de pollos en la finca San Pedro en Albán Cundinamarca.

Juan Camilo Ávila Acosta, Eider Ferney Ávila Callejas, Yeison Alfonso Buitrago Rojas.

34

2.

ARTÍCULO DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Nuevo paradigma en las telecomunicaciones: un estudio de las redes definidas por software – SDN.

Alex Eduardo Morales Prasca.

45

3.

ARTÍCULO DE LOS SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

Prototipo para clasificación automatizada de residuos reciclables y no reciclables por medio de inteligencia artificial en la Escuela de Comunicaciones Militares de Facatativá.

Andrés Felipe Salcedo Vernaza, Karen Viviana Ramos pinzón, Wilson Roberto Sánchez Solano.

61

PRESENTACIÓN
REVISTA CIENTÍFICA TECNOESCOM

La revista Científica **TECNOESCOM**, es una publicación editada por la Escuela de Comunicaciones Militares del Ejército Nacional de Colombia, Centro de Investigación (CEINV), que presenta las investigaciones en diferentes áreas de impacto realizadas bajo la dirección académica de la institución, con el propósito de divulgar y contribuir a la extensión del pensamiento científico e investigativo.

PRESENTATION
SCIENTIFIC JOURNAL TECNOESCOM

The scientific journal **TECNOESCOM**, is a publication edited by the School of Military Communications of the National Army of Colombia, Research Center (CEINV), which presents research in different areas of impact conducted under the academic direction of the institution, in order to disseminate and contribute to the extension of research and scientific study.



ARTÍCULOS DE
INVESTIGACIÓN

PROTOTIPO DE DESBROZADORA SEMIAUTOMATIZADA PARA CÉSPED CON EMPLEO EN TERRENO PLANO O SEMIPLANO EN EL CANTÓN MILITAR DE COMUNICACIONES DE FACATATIVÁ

Fabián Esteban Mellizo Quintero
Tecnólogo en Supervisión de
Mantenimiento de Sistemas de
Comunicaciones e Informática
fabianmellizoquintero@cedoc.edu.co

Jeisson Albert Rojas Reyes
Tecnólogo en Supervisión de
Mantenimiento de Sistemas de
Comunicaciones e Informática
jeissonrojasreyes@cedoc.edu.co

Resumen— Este artículo presenta la investigación y desarrollo de un prototipo de cortadora de césped semiautomatizada, diseñado específicamente para optimizar el mantenimiento de zonas verdes en el Cantón Militar de Comunicaciones de Facatativá, con énfasis en eficiencia, seguridad y sostenibilidad. El objetivo principal consistió en diseñar y validar un prototipo adaptable a terrenos planos y semiplanos, respondiendo a las necesidades del personal militar. La investigación adoptó el enfoque metodológico mixto, integrando un análisis cualitativo a través de entrevistas focales para comprender las necesidades y desafíos de los usuarios, y pruebas experimentales cuantitativas para evaluar el rendimiento del prototipo en condiciones reales. El diseño del mismo incorporó tecnologías como sistemas de rastreo GPS y conectividad inalámbrica. Los resultados demostraron una mejora significativa en la eficiencia del corte, una mayor seguridad operativa mediante la navegación asistida por GPS, y beneficios en sostenibilidad a través del uso de energía renovable y la reducción del consumo de combustibles fósiles. Se concluye que el prototipo representa una solución viable y con valor añadido para el mantenimiento de áreas verdes en contextos militares.

Palabras clave: Cortadora Césped, Eficiencia, Seguridad, Sostenibilidad, Tecnología avanzada.

Abstract— This article presents the research and development of a semi-automated lawnmower prototype, specifically designed to optimize the maintenance of green areas in the Facatativá Military Communications Canton, with an emphasis on efficiency, safety, and sustainability. The main objective was to design and validate a prototype adaptable to flat and semi-flat terrain, responding to the needs of military personnel.

The research adopted a mixed-methodological approach, integrating qualitative analysis through focus group interviews to understand users' needs and challenges, and quantitative experimental testing to evaluate the prototype's performance under real-world conditions. The design incorporated technologies such as GPS tracking systems and wireless connectivity. The results demonstrated a significant improvement in mowing efficiency, increased operational safety through GPS-assisted navigation, and sustainability benefits through the use of renewable energy and reduced fossil fuel consumption. It is concluded that the prototype represents a viable, value-added solution for the maintenance of green areas in military contexts.

Keywords: Advanced Technology, Lawn Mower, Efficiency, Safety, Sustainability.

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en el desarrollo de un prototipo de desbrozadora semiautomatizada, diseñado específicamente para optimizar el mantenimiento de césped en los terrenos planos o semiplanos del Cantón Militar de Comunicaciones en Facatativá. Este proyecto aborda una necesidad de gran relevancia: la gestión eficiente, segura y sostenible de las zonas verdes, un aspecto cada vez más crucial en la modernización de las herramientas agrícolas y de jardinería.

La importancia de esta temática se fundamenta en su vigencia y actualidad. El crecimiento demográfico y la creciente demanda de espacios verdes bien mantenidos impulsan la necesidad de optimizar las herramientas utilizadas en estas labores. De igual forma, la transición del Ejército Nacional hacia tecnologías más sostenibles y que garanticen la seguridad de su personal es esencial para mejorar las condiciones laborales de quienes desempeñan estas tareas.

El propósito principal de este estudio es el diseño, desarrollo y validación de un prototipo de desbrozadora semiautomatizada que incremente la eficiencia y la seguridad operativa, promoviendo a su vez la sostenibilidad ambiental. Para alcanzar este objetivo, se adopta un enfoque teórico positivista y empírico-analítico, complementado con una perspectiva holística que permita una comprensión integral del contexto operativo y las necesidades específicas de los operarios.

Las bases conceptuales que sustentan el desarrollo de este proyecto comprenden la eficiencia operativa, la seguridad intrínseca en el uso de este tipo de herramientas, la sostenibilidad ambiental como un imperativo, y la implementación de tecnología semiautomatizada. Estos conceptos son fundamentales para la creación de un prototipo que responda eficazmente a los requerimientos particulares del entorno militar y que tenga potencial de aplicabilidad en el ámbito civil. El desarrollo de un sistema de corte semiautomatizado, integrado con un sistema de rastreo GPS para la planificación inteligente de rutas, optimiza

significativamente la eficiencia en las labores de desbroce de césped en el Cantón de Comunicaciones Militares de Facatativá. Esta automatización estratégica busca, además, mitigar sustancialmente los riesgos de accidentes para el operario durante el mantenimiento de las áreas verdes.

II. ESTADO DEL ARTE

A. Antecedentes Nacionales

El estudio más cercano al proyecto presentado es el de Aguirre Vanegas y Otalora Acevedo [1], realizado en la Universidad Piloto de Colombia en 2020, titulado “Diseño e implementación de un sistema integrado con seguimiento de ruta por geocalización para un vehículo autónomo”. Este trabajo académico se centró en el diseño e implementación de un sistema de guiado basado en el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para vehículos autónomos. El enfoque principal recayó en el desarrollo del algoritmo de trazado de ruta y control de navegación, incluyendo la integración de un algoritmo de control autónomo para la evasión de obstáculos mediante el uso de GPS, brújula y sensores infrarrojos. Las pruebas, llevadas a cabo en un vehículo a escala y en condiciones controladas, demostraron la efectividad operativa del sistema, aunque se identificaron errores derivados de interferencias en los sensores.

En relación con la presente investigación: “Prototipo de Desbrozadora para Césped Semiautomatizada para Terrenos Planos o Semiplanos con el Propósito de ser Empleada en el Cantón de Comunicaciones”, la conexión reside en la búsqueda de soluciones tecnológicas para la automatización de tareas específicas. Sin embargo, mientras que Aguirre Vanegas y Otalora Acevedo [1] se enfocaron en la navegación autónoma de vehículos, este prototipo aborda la automatización del mantenimiento de áreas verdes. El valor agregado de esta investigación se centra en la adaptación de tecnologías de guiado y control autónomo, originalmente desarrolladas para vehículos, a la gestión eficiente y semiautomatizada de espacios verdes en entornos como el Cantón de Comunicaciones.

Por otra parte, Rivera Rojas y Rippe Valbuena [2], de la Institución de Educación Superior Unidades Tecnológicas De Santander en Bucaramanga, desarrollaron en 2022 un “desarrollo de un carro robótico a escala con movimiento autónomo en Arduino e integración de Internet de las Cosas (IoT)”. Este proyecto buscó estimular el interés en IoT entre estudiantes y automatizar entornos sociales y empresariales mediante la recopilación e intercambio de datos. Además, se promovió la programación en C++ a través de la plataforma Arduino y osoyoo.com, permitiendo el control remoto de la potencia del carro a través de una aplicación móvil conectada a Internet. El carro también incorporó control vía Wifi y Bluetooth, y movilidad omnidireccional con evasión de obstáculos.

En contraste, el prototipo de desbrozadora presentado en esta investigación se sitúa en un contexto diferente, enfocado en la automatización del mantenimiento de áreas verdes. Mientras que Rivera Rojas y Rippe Valbuena [2] se centraron en la robótica y la implementación de IoT en un entorno educativo, este proyecto busca ofrecer una solución semiautomatizada específica para el cuidado de césped en espacios urbanos. El valor agregado del prototipo de desbrozadora radica en su aplicabilidad directa en el Cantón de Comunicaciones, y en el diseño de una herramienta con fácil integración, soporte continuo y mejoras futuras, proyectadas por estudiantes de la Escuela de Comunicaciones Militares.

Uno de los proyectos más estrechamente relacionados es el de Moreno Mina y Gutiérrez Guaza [3], de la Institución Universitaria Antonio José Camacho en 2022, titulado “Implementación de un prototipo de podadora automática de césped alimentada por energía solar”. Este trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Mecatrónica Industrial abarcó la construcción y ensamblaje del prototipo mediante software de diseño asistido por computadora, la integración del sistema de control y la creación de una interfaz de usuario para la programación y el corte automático según los parámetros de la superficie.

A diferencia del presente estudio, este proyecto no se limita a funcionar como una

podadora de césped convencional, sino que se concibe como una herramienta capaz de operar en terrenos ligeramente más rústicos. Su principal contribución reside en el desarrollo del sistema electrónico y el control semiautomático, diseñados específicamente para los terrenos planos o semiplanos del Cantón de Comunicaciones, el entorno específico de esta investigación.

En cuanto al proyecto de grado “Sistema robótico para la identificación de minas antipersonal”, desarrollado por Cárdenas Londoño y Moreno Patiño [4] para optar al título de Ingenieros Mecatrónicos, este se centró en “la identificación y eliminación de minas antipersonal en regiones afectadas por conflictos armados, especialmente en áreas rurales y fronterizas de países como Colombia” [4].

Esta investigación se basó en el desarrollo de un sistema robótico para abordar esta problemática en contextos donde la detección manual o con animales entrenados resulta insuficiente o riesgosa, proponiendo una solución innovadora para mejorar la seguridad y la efectividad de las operaciones de desminado.

En contraste, el proyecto de desarrollo del prototipo de desbrozadora semiautomatizada para césped se sitúa en el Cantón de Comunicaciones, una instalación militar en Facatativá, Colombia, dedicada a las operaciones y funciones de comunicaciones del Ejército Nacional, que requiere el mantenimiento de áreas verdes. Este proyecto aborda la necesidad de mantener estas áreas despejadas y seguras para garantizar el funcionamiento adecuado de las instalaciones y la seguridad del personal militar.

Por lo tanto, el aporte del proyecto de Cárdenas Londoño y Moreno Patiño [5] se toma como base para el funcionamiento de sistemas robóticos que permiten la orientación en todo momento, además del apoyo con sensores y un sistema de control para la detección de minas. El prototipo de desbrozadora, por su parte, propone un sistema de control semiautomático novedoso y diferente al propuesto por [5].

B. Antecedentes Internacionales

En el ámbito internacional, la investigación abordada por Falana et al. [6] se sitúa en el contexto de la recolección de kenaf, una fibra natural de gran interés económico. El estudio se llevó a cabo en un campo experimental de una plantación de kenaf, específicamente en un entorno agrícola donde se cultivaban plantas de kenaf de 3 y 4 meses de antigüedad. Esta investigación se desarrolla en un contexto agroindustrial, centrado en *“la adaptación de tecnologías existentes para mejorar la eficiencia de la recolección de kenaf”*, un área que ha carecido de soluciones efectivas y de bajo costo. El valor agregado de esta investigación y su aporte radica en la modificación de una desbrozadora convencional para abordar los desafíos específicos relacionados con la recolección de kenaf, presentando un enfoque innovador y económico.

En contraste, el proyecto de desarrollo de un “Prototipo de Desbrozadora para Césped Semiautomatizada para Terrenos Planos o Semiplanos con el Propósito de ser Empleada en el Cantón de Comunicaciones” se sitúa en un contexto geográfico y operativo diferente. Este proyecto se enfoca en el mantenimiento de áreas verdes y terrenos planos o semiplanos en el Cantón de Comunicaciones.

A diferencia del estudio previamente señalado, que se centra en un entorno agrícola específico, este proyecto se desarrolla principalmente en espacios urbanos y suburbanos. El valor agregado de este proyecto reside en la creación de un prototipo adaptado a las necesidades específicas del Cantón de Comunicaciones, proporcionando una solución semiautomatizada eficiente para el cuidado de áreas verdes en estos entornos. Este enfoque se distingue por su aplicabilidad directa en el contexto del Cantón Militar de Comunicaciones de Facativá, así como municipal, contribuyendo así a mejorar la eficiencia y sostenibilidad en el mantenimiento de espacios públicos.

El estudio realizado por Hossain et al. [7] se llevó a cabo en el huerto de perales del Centro Internacional de Agricultura

de Campo, perteneciente a la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ibaraki en Japón. En este contexto, se abordó la creciente demanda de robots agrícolas, centrándose en *“la evaluación del desempeño de un robot cortacésped en el periodo de 2018 a 2019”*. El área de interés incluyó tanto zonas con corte convencional como aquellas donde se implementó el robot cortacésped. Asimismo, el estudio analizó la altura del césped, el consumo de energía, los costos operativos, las emisiones de dióxido de carbono y el esfuerzo de trabajo asociado con distintos métodos de corte, y destacó las ventajas del corte robótico, especialmente en términos de eficiencia, ahorro de costos y reducción de la carga laboral.

En relación con el presente proyecto, la conexión se establece en la búsqueda de soluciones semiautomatizadas para el mantenimiento de áreas verdes. Mientras que el estudio de Hossain et al. [7] proporciona información valiosa sobre la implementación exitosa de robots en entornos agrícolas, resaltando sus beneficios económicos y laborales, el valor agregado del proyecto en el Cantón de Comunicaciones radica en la aplicación de conceptos exitosos de automatización agrícola a la gestión de espacios urbanos y suburbanos. Además, la adaptación de tecnologías probadas en entornos agrícolas a la realidad del Cantón ofrece eficiencia, ahorro de costos y una solución potencialmente innovadora para el mantenimiento de áreas verdes en este contexto específico.

El artículo titulado *“Vision-based navigation and guidance for agricultural autonomous vehicles and robots: A review”* fue escrito por Yuhao Bai y otros autores, y publicado en la revista *Computers and Electronics in Agriculture* en 2023 [8]. Este estudio proporciona una revisión exhaustiva sobre la navegación y orientación basada en visión para vehículos y robots autónomos en agricultura, una publicación científica reconocida en el campo de la ingeniería agrícola y la aplicación de tecnología informática y electrónica en la agricultura. En él, se ofrece una visión general de los avances en esta área y se destaca la importancia de la visión artificial en la navegación autónoma en entornos agrícolas.

La investigación se enmarca en la agricultura, específicamente en el desarrollo de tecnologías para la navegación autónoma de vehículos y robots en entornos agrícolas. De acuerdo con esto, se sitúa en el contexto actual, donde la agricultura moderna busca soluciones tecnológicas para aumentar la eficiencia y reducir los costos asociados con las labores agrícolas. Es importante destacar que la investigación se lleva a cabo en instituciones académicas, centros de investigación y empresas dedicadas al desarrollo de tecnología agrícola y robótica, ubicadas en regiones con una fuerte presencia en la industria agrícola.

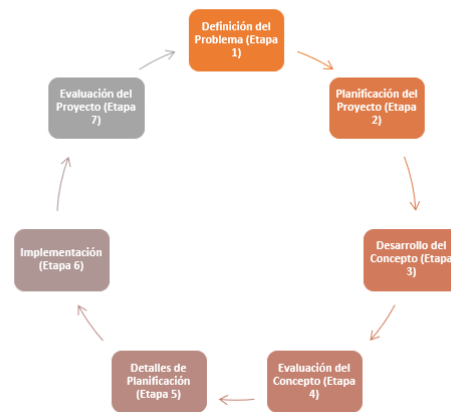
El valor agregado de esta investigación radica en su enfoque en la aplicación específica de la tecnología de visión artificial para la navegación autónoma de robots en entornos agrícolas. Aborda los desafíos particulares de este tipo de ambiente, como la variabilidad del terreno, la presencia de cultivos y obstáculos, y las condiciones de iluminación cambiantes. Al revisar los avances en este campo, se identifican las tecnologías y metodologías más prometedoras para la navegación autónoma en entornos agrícolas, lo que proporciona información valiosa para el diseño y desarrollo del prototipo de desbrozadora para césped semiautomatizada propuesta.

III. PROCEDIMIENTO Ó METODOLOGÍA

A. Metodología y fases

Las fases que tiene el proyecto están orientadas bajo la metodología VDI 2206, desarrollada por la Asociación Alemana de Ingeniería (VDI), la cual se centra en la gestión y optimización de proyectos de ingeniería, proporcionando una estructura sistemática para el desarrollo de proyectos [9]. En el contexto del proyecto que aborda el planteamiento del problema, se pueden desglosar las etapas y procedimientos según dicha metodología, de acuerdo con la figura 1.

Figura 1. Metodología VDI 2206



• Definición del Problema (Etapa 1)

En esta etapa, se realizó una definición clara y detallada del problema. Se identificaron los desafíos asociados con el uso de desbrozadoras, como el impacto ambiental, los riesgos para la salud y los costos económicos. Se estableció, además, la necesidad de optimizar la eficiencia y reducir la dependencia de combustibles fósiles. En el análisis del estado actual, se llevó a cabo un análisis exhaustivo del uso de desbrozadoras en las instalaciones del Cantón de Comunicaciones. Se recopilaron datos sobre el tiempo dedicado, el consumo de combustible y los costos asociados.

• Planificación del Proyecto (Etapa 2)

Se establecieron los objetivos específicos del proyecto, como reducir los costos operativos, minimizar la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la eficiencia en las tareas de desbroce. Se determinaron los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto, incluyendo personal, equipos, herramientas de medición y posibles colaboraciones con expertos en sostenibilidad y tecnologías agrícolas.

- *Desarrollo del Concepto (Etapa 3)*

Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con tecnologías agrícolas sostenibles, maquinaria alternativa y soluciones innovadoras para el desbroce. Se consideraron las tendencias actuales y las mejores prácticas.

Se llevó a cabo un proceso creativo para generar ideas y soluciones que abordaran los problemas identificados.

- *Evaluación del Concepto (Etapa 4)*

Se evaluaron las soluciones propuestas en términos de viabilidad técnica, económica y ambiental. Se determinó qué conceptos eran más prometedores y sostenibles para el desarrollo. Asimismo, se realizaron simulaciones y pruebas preliminares para evaluar el rendimiento de las alternativas propuestas. Esto incluyó imulaciones de consumo de energía, costos operativos y eficiencia en comparación con las desbrozadoras convencionales.

- *Detalles de Planificación (Etapa 5)*

Se desarrolló un plan detallado que incluye las actividades específicas, el cronograma, los recursos necesarios y las responsabilidades asignadas. Se establecen hitos para el seguimiento y la evaluación continua del progreso. Se definieron indicadores clave de rendimiento que permitirán medir el éxito del proyecto. Estos pueden incluir la reducción de costos, la disminución del consumo de combustible y la mejora de la eficiencia en el desbroce.

- *Desarrollo (Etapa 6)*

Se llevó a cabo el desarrollo del plan, siguiendo las actividades y tareas definidas en la planificación detallada. Se monitorearon los indicadores de rendimiento para asegurar que se cumplieran los objetivos establecidos.

- *Evaluación del Proyecto (Etapa 7)*

Se realizó una evaluación exhaustiva de los resultados obtenidos durante la verificación. Se compararon

los indicadores de rendimiento con los objetivos predefinidos en la investigación.

B. Paradigma de la investigación

El paradigma de investigación seleccionado para este proyecto es el empírico-analítico. Este enfoque se basa en la observación y el análisis sistemático de fenómenos medibles y verificables, lo que permite una evaluación rigurosa y objetiva de los aspectos técnicos del prototipo y sus implicaciones prácticas.

De acuerdo con [10], el enfoque empírico-analítico es esencial para obtener resultados replicables y generalizables, cruciales para validar la viabilidad técnica del prototipo. Por lo tanto, este paradigma es el más adecuado, ya que permite una evaluación de la eficiencia, seguridad y sostenibilidad del prototipo de desbrozadora semiautomatizada. Mediante métodos experimentales y cuantitativos, se pueden obtener datos precisos sobre su rendimiento en condiciones reales de trabajo, incluyendo la medición del consumo de energía, la eficiencia en el corte de vegetación y la durabilidad del dispositivo en diversos tipos de terreno.

C. Tipo de investigación

Según [11], la investigación aplicada es fundamental para la transferencia del conocimiento teórico a aplicaciones prácticas, un factor crucial para el éxito de proyectos tecnológicos innovadores. Este tipo de investigación se caracteriza por su orientación hacia la resolución de problemas específicos y la generación de resultados implementables en contextos reales.

En este proyecto, la investigación aplicada es idónea porque se enfoca en desarrollar y evaluar un prototipo de desbrozadora semiautomatizada que mejore la eficiencia, seguridad y sostenibilidad en el mantenimiento de zonas verdes en el Cantón Militar de Comunicaciones de Facatativá.

Esto implica varias fases, incluyendo la identificación de las necesidades específicas del personal de mantenimiento, la selección de tecnologías

adecuadas, el diseño y construcción del prototipo, y su validación experimental en condiciones reales de uso. Este proceso garantiza que los resultados obtenidos sean directamente aplicables y relevantes para el contexto específico del Cantón Militar de Comunicaciones de Facatativá.

D. Enfoque de investigación

El enfoque cualitativo, según [12], es una metodología que integra la recolección y el análisis de datos cualitativos en un solo estudio, "proporcionando una visión más completa y robusta del fenómeno de estudio" (p. 35). En este proyecto, este enfoque es particularmente adecuado porque permite abordar tanto los aspectos técnicos y medibles del desarrollo del prototipo como las percepciones y experiencias de los usuarios finales.

De esta forma, el enfoque cualitativo permitirá identificar las necesidades específicas, los desafíos operativos y las expectativas de los usuarios, asegurando que el diseño y la funcionalidad del prototipo se alineen con sus requerimientos prácticos. El uso de este enfoque en el estudio proporcionará una comprensión integral y detallada del fenómeno, facilitando el desarrollo de una desbrozadora semiautomatizada que no solo sea técnicamente eficiente, sino también aceptada y valorada por los usuarios.

E. Diseño de la investigación

El diseño de investigación seleccionado para este proyecto es cuasiexperimental. Este diseño permite evaluar el impacto del prototipo en condiciones casi reales, asegurando la validez y relevancia de los resultados. Esto concuerda con [13], quien menciona que los diseños cuasiexperimentales son esenciales cuando no es posible controlar completamente las variables de estudio, pero se requiere una evaluación rigurosa de los efectos de una intervención.

Las características del diseño cuasiexperimental lo hacen ideal para este estudio, ya que permite desarrollar el prototipo en un entorno real con el personal militar encargado del mantenimiento de zonas verdes.

Se llevarán a cabo pruebas de campo en áreas específicas del Cantón Militar de Comunicaciones, donde se evaluará el rendimiento del prototipo en comparación con los métodos tradicionales de desbroce.

F. Método aplicado a la investigación

Con base en lo planteado por [14], quien argumenta que el método deductivo implica la formulación de hipótesis basadas en teorías existentes y la posterior verificación de estas hipótesis mediante observaciones y experimentos, este estudio se basa en el método deductivo. Se parte de principios generales sobre eficiencia, seguridad y sostenibilidad en el mantenimiento de zonas verdes, y se aplican estos principios al diseño y evaluación del prototipo de desbrozadora semiautomatizada. Este enfoque permite una evaluación rigurosa y sistemática, asegurando que las conclusiones obtenidas sean coherentes con los conocimientos teóricos existentes y aplicables en contextos específicos.

Las características del método deductivo lo hacen coherente con el enfoque cualitativo y el paradigma empírico-analítico seleccionados para esta investigación. En este contexto, se formula una hipótesis sobre el rendimiento y la efectividad del prototipo, basada en teorías y conocimientos previos sobre el uso de tecnologías en el mantenimiento de zonas verdes. Esta hipótesis se verifica mediante el análisis de datos cualitativos obtenidos a través de pruebas de campo y observaciones directas.

IV. ANÁLISIS RESULTADOS

A. Objetivo Específico 1.

Determinar las necesidades específicas de los trabajadores encargados del mantenimiento de zonas verdes en el Batallón de Comunicaciones de Facatativá, identificando los desafíos actuales en términos de eficiencia y seguridad.

Para alcanzar este objetivo, se llevaron a cabo entrevistas y observación directa, métodos que facilitaron el análisis de las necesidades particulares de los operarios responsables del mantenimiento en el Cantón Militar de Comunicaciones.

Tomando como base los resultados obtenidos mediante los instrumentos aplicados, se evidenció que la labor desarrollada por los soldados en esta área, además de extenuante, puede revestir un peligro significativo. Así lo corroboran las entrevistas, las cuales revelaron que más del 70% de la muestra poblacional manifiesta tener conocimiento de algún tipo de accidente ocasionado por el uso de guadañas cortacésped.

Inicialmente, se realizó la recolección de datos primarios a través de entrevistas y observaciones directas. Las entrevistas se diseñaron con el fin de obtener información cualitativa acerca de las prácticas de mantenimiento vigentes, los recursos empleados y las percepciones de los trabajadores sobre diversos aspectos de su labor. La población objetivo para estas entrevistas comprendió a todos los trabajadores a cargo del mantenimiento de zonas verdes en el cantón. Los cuestionarios se estructuraron con preguntas cerradas y abiertas, posibilitando tanto respuestas directas como la oportunidad para que los entrevistados expresaran detalles adicionales.

Estas entrevistas se orientaron a profundizar en los desafíos específicos que afrontan los trabajadores. Este enfoque cualitativo permitió recabar información detallada sobre las condiciones de trabajo, las experiencias personales y las sugerencias de mejora desde la perspectiva de los operarios. La muestra para las entrevistas se seleccionó de manera representativa, incluyendo a soldados con diferentes roles y niveles de experiencia.

Las entrevistas se ejecutarán empleando guías semiestructuradas, asegurando la cobertura de temas clave al tiempo que se concede espacio para explorar áreas emergentes durante las conversaciones. Adicionalmente, se llevaron a cabo observaciones directas en el entorno laboral. Esta

técnica facilitó el registro de primera mano de las condiciones de trabajo, las prácticas de mantenimiento y los recursos utilizados.

Las observaciones contribuyeron a validar la información obtenida mediante las entrevistas, proporcionando un contexto visual y práctico que puede revelar aspectos no mencionados por los trabajadores. En la tabla 1 que se presenta a continuación, se relacionan las técnicas utilizadas, el propósito, la población objetivo y el instrumento empleado.

TABLA I
Técnicas de Recolección de Datos

Técnica	Propósito	Población Objetivo	Instrumento
Entrevistas	Profundizar en desafíos específicos y obtener detalles cualitativos	Muestra representativa de Personal Militar que realizan esta labor	Guía de entrevista semiestructurada.
Observaciones	Registrar condiciones de trabajo y prácticas de mantenimiento	Personal de soldados en las labores de desbrozado.	Notas de observación y registros visuales

Estas técnicas se integrarán para proporcionar una visión completa de las necesidades y desafíos del personal Militar que realiza la labor de desbrozado. Los datos cualitativos de las entrevistas y observaciones ofrecieron una comprensión más profunda y contextualizada de las experiencias de los trabajadores.

Esta combinación metodológica permitió que se abordaran todos los aspectos relevantes de eficiencia, seguridad y sostenibilidad, proporcionando una base sólida para el desarrollo de soluciones que respondan a las necesidades identificadas y así evidenciar la importancia de un tipo de desbrozadora semiautomática que permita apoyar estas labores.

En resumen, el uso de entrevistas y observaciones directas permitió una investigación exhaustiva de las necesidades específicas de los trabajadores del Cantón Militar de Comunicaciones de Facativá. De igual manera, esta metodología garantizó el desarrollo de objetivo 1, ya que se logró una comprensión detallada y

completa de los desafíos en términos de eficiencia, seguridad y sostenibilidad, permitiendo desarrollar soluciones efectivas y prácticas para mejorar las condiciones de trabajo y el desempeño en el mantenimiento de zonas verdes.

En la etapa para identificar la eficiencia, se evidenciaron parámetros importantes como el tiempo promedio de corte, área cubierta por hora, consumo de combustible, calidad del corte y tasa de fallos del equipo. Por lo tanto, la tabla II, muestra el resumen que se obtuvo de esta etapa.

TABLA II
Eficiencia en el Corte de Césped

Indicador	Descripción	Método de Recolección	Fuente de Datos	Frecuencia de Medición
Tiempo promedio de corte	Tiempo medio requerido para cortar una determinada área de césped	Observación directa	Trabajadores de mantenimiento	Semanal
Área cubierta por hora	Superficie de césped cortada en una hora de trabajo	Observación	Personal Militar de mantenimiento	Semanal
Consumo de combustible	Cantidad de gasolina utilizada por hora de operación de la desbrozadora	Registros de consumo	Registros de mantenimiento de equipos	Semanal
Calidad del corte	Nivel de uniformidad y precisión en el corte del césped	Inspección visual	Personal Militar Supervisor de mantenimiento	Semanal
Tasa de fallos del equipo	Frecuencia con la que ocurren fallos o averías durante el uso de la desbrozadora	Registros de fallos	Registros de mantenimiento de equipos	Semanal

B. Objetivo Específico 2

Determinar tecnologías y plataformas adecuadas para la puesta en marcha del prototipo de cortadora de césped, integrando todas las etapas de funcionamiento con un enfoque de funcionamiento semiautomatizado.

Para el desarrollo de este objetivo, se requirió de una selección cuidadosa de tecnologías y plataformas que permitieran su implementación efectiva. A continuación, se argumenta la importancia de los indicadores seleccionados en las Tablas III y IV.

TABLA III
Tecnologías Adecuadas

Tecnología	Descripción	Método de Evaluación	Fuente de Datos
Sensores de Proximidad	Detectan obstáculos y permiten la navegación autónoma	Pruebas de campo	Fabricantes de sensores
Sistemas de GPS	Facilitan la navegación precisa y cobertura de áreas específicas	Pruebas de precisión	Proveedores de GPS
Mecanismos de Corte	Diseñados para un rendimiento eficiente y de alta calidad en el corte de césped	Evaluación de rendimiento	Fabricantes de herramientas
Sistemas de Energía	Proporcionan energía al prototipo con autonomía adecuada y opciones de recarga rápida	Pruebas de autonomía	Proveedores de baterías
Controladores y Microcontroladores	Gestionan las operaciones y procesos del prototipo	Evaluación de capacidad	Proveedores de tecnología

Para la selección de la placa controladora se utilizaron los criterios determinados en la tabla IV.

TABLA IV
Plataformas Adecuadas

Plataforma (Placa)	Descripción	Método de Evaluación	Fuente de Datos
Plataforma o placa de Integración de Sensores.	Facilite la integración y gestión de diversos sensores necesarios para la operación autónoma	Pruebas de integración	Proveedores de tecnología
Plataforma o Placa de Control y Automatización.	Gestione las funciones semiautomatizadas y permite la operación autónoma del prototipo	Pruebas de automatización y control	Proveedores de tecnología
Sistema de Energía y Recarga	Optimice el uso de la energía y facilita la recarga rápida	Pruebas de eficiencia energética	Proveedores de baterías

A partir de estas tablas y con base en los criterios descritos allí, se realiza la selección de los componentes más cruciales del presente estudio de investigación. A continuación, se relacionan las características generales que se tuvieron en cuenta y tablas valorativas que llevaron a la selección de los componentes que cumplieran con el objetivo 2 de este estudio.

Esta placa es una de las más importantes, ya que permite la integración de los diferentes componentes, además de estar en la capacidad de ejecutar y gestionar la operación

del prototipo de manera autónoma, con la capacidad de ajustarse de manera eficiente a condiciones cambiantes del entorno, de acuerdo con el sensor. Es por ello por lo que se realizó una tabla comparativa entre diferentes placas que cumplieran de la mejor forma posible con el propósito de esta investigación.

A continuación, se presenta la tabla V de evaluación cuantitativa de algunas tarjetas de desarrollo para IoT, calificando distintos aspectos importantes para su desempeño. La tarjeta ESP32 WiFi Bluetooth se califica como la mejor en cada categoría.

TABLA V
Evaluación Tarjetas de desarrollo

Tarjeta de Desarrollo	Conectividad WiFi	Conectividad Bluetooth	Potencia de Procesamiento	Consumo de Energía	Flexibilidad de Programación	Costo	Calificación General
ESP32 WiFi Bluetooth	9.8/10	9.7/10	9.5/10	9.4/10	9.6/10	9.0/10	9.5/10
ESP8266	8.8/10	8.7/10	9.0/10	9.3/10	9.6/10	9.0/10	9.1/10
Raspberry Pi	8.3/10	8.2/10	9.5/10	8.4/10	7.6/10	9.8/10	8.9/10

Para esta investigación la selección de una tarjeta de desarrollo adecuada para diversas aplicaciones es crucial para asegurar una comunicación eficiente, procesamiento de datos robusto y un consumo de energía optimizado. La tarjeta ESP32 WiFi Bluetooth se destaca como la mejor opción debido a sus características técnicas superiores.

La ESP32 WiFi Bluetooth ofrece una conectividad WiFi sobresaliente con una calificación de 9.8 sobre 10. Esta tarjeta es capaz de mantener conexiones estables y rápidas, lo cual es esencial para la transmisión de datos en tiempo real en aplicaciones IoT. La alta conectividad WiFi permite a los dispositivos integrados interactuar de manera eficiente con redes y servicios en la nube. Esto bajo el concepto primordial de aplicaciones futuras y proyección del prototipo.

Posee una potente capacidad de procesamiento con una calificación de 9.5 sobre 10, gracias a su microcontrolador dual-core y su arquitectura eficiente. Esto permite la ejecución de algoritmos complejos y el procesamiento rápido de datos, mejorando el rendimiento general del sistema y permitiendo la implementación

de funciones avanzadas de control y análisis. Con un consumo de energía optimizado calificado en 9.4 sobre 10, la ESP32 es ideal para aplicaciones que requieren un bajo consumo energético, prolongando la vida útil de la batería y reduciendo la necesidad de mantenimiento. La eficiencia energética es crucial para dispositivos IoT desplegados en entornos donde la recarga frecuente no es viable.

Es una placa altamente flexible en términos de programación, con una calificación de 9.6 sobre 10. Ofrece soporte para múltiples lenguajes de programación y plataformas de desarrollo, incluyendo Arduino, MicroPython y ESP-IDF. Esta flexibilidad facilita el desarrollo rápido y personalizado de aplicaciones, permitiendo a los desarrolladores adaptar el sistema a necesidades específicas.

De acuerdo con las diferentes placas de control de vuelo y los criterios que se especificaron en el numeral 9.2, se destaca la Controladora de Vuelo Matek WING 405 V2 gracias a su robusta integración de tecnología avanzada, ofreciendo un equilibrio óptimo entre rendimiento y versatilidad. Con un procesador STM32F405 de 168 MHz y una IMU de 6 ejes, proporciona una capacidad de procesamiento eficiente y una alta estabilidad en el vuelo realizó la selección de los componentes más versátiles.

En la tabla VI se realiza un comparativo que permitió definirla con la óptima para el presente estudio de investigación.

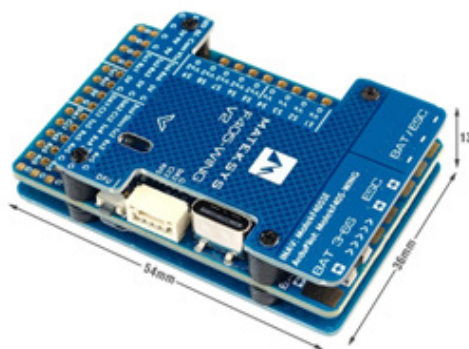
A partir de la tabla VI, se puede resaltar el hecho de que la controladora WING 405 V2 a pesar de que no cuenta con GPS integrado, su compatibilidad con Betaflight, ArduPilot e INAV asegura su adaptabilidad a diversas plataformas de control. Además, que la memoria de 2MB Flash es adecuada para almacenar configuraciones y datos de navegación, mientras que su tamaño compacto de 54mm x 36mm y su peso ligero de 10g permiten una instalación versátil en diferentes sistemas de navegación como lo es el prototipo de desbrozadora. A esto se suma el hecho de que su capacidad para operar con voltajes de 5V o 8V-12V, junto con la integración de barómetro e IMU,

refuerza su funcionalidad en condiciones variables. Comparada con otras controladoras, la Matek WING 405 V2 ofrece una solución balanceada entre costo y funcionalidad, siendo competitiva en términos de precio y características frente a opciones con capacidades similares o superiores.

TABLA VI
Tabla Comparativa Controladora de Vuelo

Características	Controladora WING 405 V2	CUAV X7	DYS F7 F722
Tipo de Controladora	Controladora de vuelo para aeronaves multirroto y planeadores	Controlador Profesional para Drones	Controlador para drones semiprofesionales para Cuadricópteros
Procesador	STM32F405, Cortex-M4, 168MHz	No especifica	No especifica
Número de Ejes	6 ejes (IMU de 6 ejes)	6 ejes	6 ejes
GPS Integrado	No	Sí	No
Conectividad	UART, I2C, SPI, USB	UART, I2C, SPI, USB	UART, I2C, SPI, USB
Compatibilidad	Compatible con Betaflight, ArduPilot, INAV		
Memoria	2MB Flash	6Mb Flash	2MB Flase

Figura 2. Controladora Matek WING 405 V2



Fuente: [15]

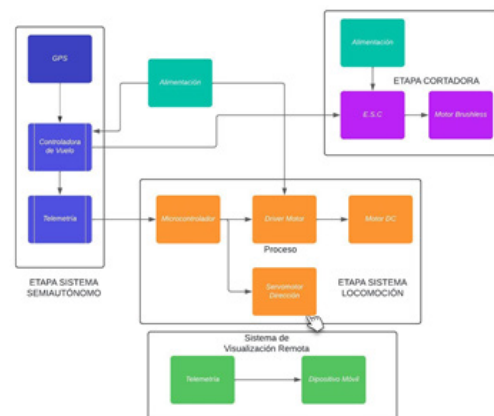
Es por este motivo que la Controladora de Vuelo Matek WING 405 V2, es una opción destacada en el mercado por su capacidad para manejar de manera eficiente el control de diversos sistemas de navegación. Su procesador STM32F405 y la IMU de 6 ejes proporcionan una alta precisión en la navegación y estabilidad, mientras que su compatibilidad con múltiples plataformas de control, la convierte en una solución versátil para diferentes aplicaciones.

C. Objetivo Específico 3

Diseñar un prototipo de desbrozadora semiautomatizada adaptada a terrenos planos o semiplanos, considerando las particularidades del entorno, así como las necesidades específicas del personal militar.

Para el diseño del prototipo se realizó en primera instancia un sistema de bloques que permite comprender la integración entre cada uno de los componentes.

Figura 3. Diagrama de Bloques del Sistema



Con base en la figura 3, que corresponde al diagrama de bloques del sistema, se describe el diagrama de bloques del sistema de control, en el cual se identifica el controlador, los actuadores, la planta y el sistema de medida.

Para realizar el diagrama de bloques, se incluye una referencia, que representa la señal deseada o el objetivo que se quiere alcanzar, como la altura deseada del césped. Entre tanto, la Controladora de Vuelo permite al usuario enviar comandos que afectan el comportamiento del sistema, como la velocidad o la dirección del corte. Estos comandos son procesados por el Microcontrolador ESP32, que actúa como el controlador principal del sistema. La ESP32 compara la señal de referencia con la señal de realimentación y ajusta la operación del Motor DC en consecuencia.

De otro lado, el actuador (Motor Waterproof Brushless) transforma las señales de control provenientes del ESP32 en movimiento físico del sistema de corte. La Planta se refiere al sistema físico de la desbrozadora que realiza el corte del césped. Asimismo, el sistema también incluye un sistema de medición / visualización remota, proporcionando una señal de retroalimentación al ESP32 para que pueda ajustar el control del sistema según sea necesario.

Además, este sistema de medición permite la transmisión de información para la visualización remota. La señal de retroalimentación es esencial para comparar el estado actual con la referencia y realizar ajustes en el sistema para mantener un rendimiento óptimo. De esta forma, el diagrama de Bloque queda de acuerdo con la figura 4.

Figura 4. Sistema de Control representado por Diagrama de Bloques



D. Objetivo Específico 4

Validar experimentalmente el prototipo en condiciones reales de trabajo, evaluando su desempeño en términos de eficiencia y seguridad en la operación.

Para validar experimentalmente el prototipo en condiciones reales de trabajo y evaluar su desempeño en términos de eficiencia y seguridad en la operación, se utilizaron tablas valorativas que permitieron cuantificar y comparar los resultados obtenidos.

Definición de criterios de evaluación

Para llevar a cabo la validación experimental del prototipo, es fundamental identificar los indicadores específicos que se evaluarán en términos de eficiencia y seguridad. Estos indicadores permitieron

una medición precisa del desempeño del prototipo en condiciones reales de trabajo.

En cuanto a la eficiencia, se consideraron varios aspectos clave. El primero es el rendimiento, que se puede medir como el área cubierta por unidad de tiempo, proporcionando una visión clara de la productividad del prototipo. Otro indicador importante es el consumo de energía o combustible, el cual refleja la eficiencia del prototipo en cuanto a la utilización de recursos energéticos.

Además, es esencial analizar el tiempo de inactividad, que se refiere al porcentaje de tiempo en el que el prototipo no está operando debido a mantenimiento u otros factores, ya que un menor tiempo de inactividad generalmente indica una mayor eficiencia operativa. Por otro lado, la seguridad del prototipo se puede evaluar mediante varios indicadores críticos. Uno de ellos es el número de incidentes de seguridad, que se pueden cuantificar por la cantidad de incidentes ocurridos en un período específico o con relación al área trabajada.

Además, los niveles de ruido generados por el prototipo son un aspecto importante para considerar, especialmente en entornos donde el control del ruido es crucial para la seguridad y el confort. La ergonomía y comodidad del operador también son vitales, ya que un diseño ergonómico puede reducir la fatiga y el riesgo de lesiones, mejorando así la seguridad.

Finalmente, el cumplimiento de normas de seguridad es indispensable para garantizar que el prototipo opera dentro de los estándares establecidos, minimizando los riesgos para los operadores y el entorno. Estos indicadores proporcionaron un marco integral que permitió evaluar el desempeño del prototipo en términos tanto de eficiencia como de seguridad, asegurando una validación completa y fiable del mismo en condiciones reales de trabajo. Para los indicadores iniciales, se partió de los parámetros iniciales del Vehículo; para ello, se calcula el tiempo que tarda en recorrer 1 metro.

$$x = v * t \quad (1)$$

$$t = \frac{1 [m]}{1 [m/s]} \quad (2)$$

Donde:

$t=1$ s (tiempo en recorrer un metro). Tamaño del ancho de corte 300 mm (30cm). Es decir, en 1 segundo aproximadamente el corte lineal es de 0.3 m². Teniendo en cuenta que el movimiento del rover se efectúa en configuración Ackerman el tiempo de giro aumenta, considerando este factor se estima un promedio de giro por el ancho del corte en 4 segundos, adicionando este lapso se considera un tiempo de corte de 1m² en 16 segundos. Esto lleva a la tabla VII que relaciona la autonomía del Rover.

TABLA VII
Autonomía del Rover

COMPONENTE	VOLTAJE	CORRIENTE
Controladora Matek WING 405V2	15V	70 mA
MATEKSYS GNSS y brújula, M10Q-5883	5V	13 mA
Servo motor dirección de estructura	5V	100 mA
ESP32	5V	50 mA
Motor magnético 390	7,4 V	3500 mA
Telemetría para APM2.6 APM2.8 Pixhawk controlador de vuelo	5V	200 mA
Receptor Microzone MC7RB	5V	100mA
Total		4033 mA

De esta manera, la autonomía está dada de la siguiente manera:

Autonomía (Horas)= 1500mAh/4033mA

Autonomía (Horas)=0.37h

Autonomía (Horas)=22 minutos aprox.

Durante el funcionamiento continuo de la desbrozadora, se observaron periodos de tiempo de inactividad en base a factores como: Pérdida Temporal de Señal GPS (interferencias, obstrucciones o si el número de satélites conectados baja del mínimo requerido para mantener una navegación precisa)

y Configuración del Parámetro de Seguridad (Mission Planner y el firmware). Con base en estos parámetros, se estima un tiempo de inactividad del 12%. En la figura 5, se detalla la ruta establecida en waypoint con una velocidad promedio de 1,5 m/s y una distancia recorrida de 36 m aproximadamente.

Figura 5. Ruta Establecida en Waypoint



Por lo tanto,

$$x = v * t \quad (4)$$

$$t = \frac{36 [m]}{1.5 [m/s]} \quad (5)$$

$$t = 24 \text{ s}$$

Teniendo como base el tiempo establecido en la ecuación 4 el cual es de 24 segundos y al terminar el recorrido el ROVER lo efectúa en 29 segundos por ende existe una pérdida de 5 segundos, en los cuales se presentó cierto grado de inactividad.

$$\frac{29}{5} = \frac{100}{X} \% \quad (6)$$

$$X = \frac{5 * 100\%}{29} \quad (7)$$

$$X = 17\%$$

V. CONCLUSIONES

- La investigación ha revelado que el Personal Militar a cargo de las labores de corte de césped del Cantón Militar de Comunicaciones de Facatativá enfrenta desafíos significativos en términos de eficiencia, seguridad y sostenibilidad en el mantenimiento de zonas verdes. En cuanto a eficiencia, las herramientas actuales no satisfacen las necesidades del personal.
- En el aspecto de seguridad, el uso prolongado de desbrozadoras tradicionales aumenta el riesgo de lesiones relacionadas con vibración y carga física. Finalmente, la sostenibilidad es un problema debido al alto consumo de combustibles fósiles, lo que impacta negativamente el medio ambiente. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que un sistema de corte semiautomatizado, respaldado por tecnologías avanzadas, puede mejorar notablemente la eficiencia en las tareas de corte de césped, al mismo tiempo que reduce el riesgo de accidentes y el impacto ambiental.
- La identificación de tecnologías y plataformas adecuadas para el prototipo de cortadora de césped ha sido fundamental para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro. Las tecnologías seleccionadas, como sistemas de rastreo GPS y plataformas de comunicación, son cruciales para lograr una integración efectiva en todas las etapas de funcionamiento del prototipo.
- Estas tecnologías permiten una optimización en la eficiencia del corte, mejoran la seguridad al reducir el riesgo de colisiones y errores operativos, y facilitan la sostenibilidad al promover una mayor conectividad y eficiencia en el uso de recursos. La adecuada selección e integración de estas tecnologías confirman la hipótesis de que un sistema semiautomatizado, respaldado por tecnologías avanzadas, optimizará las tareas de mantenimiento de áreas verdes en el Cantón.

- El diseño del prototipo de desbrozadora semiautomatizada se ha realizado teniendo en cuenta las particularidades del terreno y las necesidades del personal militar. El prototipo está adaptado para operar de manera eficiente en terrenos planos o semiplanos, lo que garantiza su efectividad en el corte de césped en el entorno específico del Cantón. El diseño también incorpora características que mejoran la ergonomía y seguridad para el personal, abordando los problemas identificados en la investigación.
- La validación experimental del prototipo en condiciones reales ha demostrado que el prototipo semiautomatizado ofrece mejoras significativas en eficiencia, seguridad y sostenibilidad. El prototipo ha mostrado un rendimiento superior en la limpieza de terrenos, reduciendo el tiempo y esfuerzo necesarios en comparación con las herramientas tradicionales.
- Se espera que la seguridad mejore notablemente gracias a los sistemas de detección de obstáculos y características de diseño que minimizan el riesgo de accidentes. Además, la capacidad para reducir el impacto ambiental se podrá evidenciar a través de la disminución en el consumo de combustibles fósiles y una operación más ecológica.

VI. REFERENCIAS

- [1] Las mejores máquinas y herramientas para jardinería: Guía completa," *Info Jardines*, 2024. [En línea]. Disponible: <https://infojardines.com/herramientas-jardineria/>
- [2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), "Contribuciones tecnológicas para el futuro forestal y agropecuario", Puebla, México, 2024. [Online]. Disponible: <https://www.gob.mx/inifap>.

- [3] OIT, "Código de prácticas sobre seguridad y salud en la agricultura," *Oficina Internacional del Trabajo*, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2010/10/1201011>
- [4] Manual MSD, "Síndrome de Raynaud," *Manual MSD versión para profesionales*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.msd-manuals.com/es/profesional/trastornos-vasculares/trastornos-vasoespásticos/síndrome-de-raynaud>. [Accedido: 22-mayo-2024]
- [5] DesbrozadoraInfo.com, "Manejo de vibraciones en desbrozadoras para proteger tu salud," *Desbrozadora-Info.com*, [en línea]. Disponible: <https://desbrozadorainfo.com/manejo-vibraciones-desbrozadoras-salud/>.
- [6] Foro Económico Mundial, "La energía de combustibles fósiles sigue incrementándose," *Foro Económico Mundial*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.weforum.org>.
- [7] S. Salaet Fernández and J. Roca Jusmet, "Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO2: algunos posibles escenarios futuros de emisiones," *Revista Galega de Economía*, vol. 19, no. 1, pp. 1-19, 2010.
- [8] "El fenómeno de Raynaud," *SciELO*, [Online]. Available: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1699-695X2009000100011#:~:text=El%20fen%C3%B3meno%20de%20Raynaud%20se,3%C2%AA%20d%C3%A9cadas%20de%20la%20vida.
- [9] "Colombia logra que transición de combustibles fósiles sea incluida en texto final de COP28," *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia*, [Online]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/colombia-logra-que-transicion-de-combustibles-fosiles-sea-incluida-en-texto-final-de-cop28/>.
- [10] "Cuánto se tarda en desbrozar 1000 metros cuadrados," *Habitissimo*, [Online]. Available: <https://proyectos.habitissimo.es/proyecto/cuanto-se-tarda-en-desbrozar-1000-metros-cuadrados>.
- [11] "Cuánto gasta una desbrozadora de gasolina," *Desbrozadoras Zone*, [Online]. Available: <https://desbrozadoraszone.com/cuanto-gasta-una-desbrozadora-de-gasolina/>
- [12] "Desbrozadora eléctrica: un recorrido por sus innovaciones," *Desbrozadora Info*, [Online]. Available: <https://desbrozadorainfo.com/desbrozadora-electrica-un-recorrido-por-sus-innovaciones-2/>.
- [13] "FAO: Food and Agriculture Organization," [Online]. Available: <https://www.fao.org/home/es/>.
- [14] "Noticia de la ONU," [Online]. Available: <https://news.un.org/es/story/2011/11/1230071>. "Proximity Sensor for Obstacle Detection in Robotics Applications," 2019 2nd International Conference on Control and Robots (ICCR), pp. 118-123, 2019. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8892162>.

RED NEURONAL PARA EL RECONOCIMIENTO DEL ARMA SA-P92 UBICADA EN LA SUPERFICIE INFERIOR DE LOS VEHÍCULOS

Ing. Andrés Felipe Rodríguez Sánchez
Ingeniero Electrónico y de
Telecomunicaciones
andresrodriguezsanchez@cedoc.edu.co

Esp. Yeison Alfonso Buitrago Rojas
Esp. Seguridad Física y de la Informática
yeisonbuitragorojas@cedoc.edu.co

Resumen:

El siguiente proyecto aborda el desarrollo de una red neuronal para la detección del arma SA-P92 en la superficie inferior de vehículos que ingresan al Cantón de Comunicaciones de Facatativá. Para ello, se empleó Haar Cascade y la librería OpenCV de Python. Se recopiló una base de datos de imágenes de vehículos, incluyendo muestras con y sin el arma SA-P92, considerando diversas condiciones de iluminación y las posibles ubicaciones del arma. Las imágenes fueron preprocesadas mediante escalado y normalización, y se extrajeron sus características físicas utilizando el algoritmo Haar Cascade. Estas características se utilizaron para entrenar una red neuronal, configurada con múltiples capas ocultas y funciones de activación no lineales. La evaluación del modelo, realizada a través de validación cruzada, alcanzó una precisión del 90% en la detección del arma SA-P92. Los resultados demuestran la efectividad del enfoque propuesto y su potencial aplicación en sistemas de seguridad vehicular y control de acceso en instalaciones estratégicas. La combinación de Haar Cascade y redes neuronales permite una detección precisa y rápida, lo que destaca la importancia de las técnicas avanzadas de análisis de imágenes para la seguridad pública.

Palabras clave: detección de armas, Haar Cascade, OpenCV, red neuronal, seguridad vehicular

Abstract:

The following project addresses the development of a neural network for the detection of the SA-P92 weapon on the undercarriage of vehicles entering the Facatativá communications canton. For this purpose, Haar Cascade and the OpenCV library of Python were used. A database of vehicle images was compiled, including samples with and without the SA-P92 weapon, considering various lighting conditions and the possible locations of the weapon. The images were preprocessed by scaling and normalization, and their physical characteristics were extracted using the Haar Cascade algorithm. These characteristics were used to train a neural network, configured with multiple hidden layers and non-linear activation functions. The evaluation of the model, carried out through cross-validation, reached an accuracy of 90% in the detection of the SA-P92 weapon. The results demonstrate the effectiveness of the proposed approach and its potential application in vehicular security and access control systems in strategic facilities. The combination of Haar Cascade and neural networks allows for precise and rapid detection, which highlights the importance of advanced image analysis techniques for public safety.

Keywords— weapon detection, Haar Cascade, OpenCV, neural network, vehicular security

I. INTRODUCCIÓN

A. Problemática

La detección de armas ocultas en vehículos representa un desafío crítico en el ámbito de la seguridad pública y el control de acceso en instalaciones estratégicas. En particular, la identificación del arma SA-P92 en la superficie inferior de los vehículos que ingresan al Cantón de Comunicaciones de Facatativá es una tarea de vital importancia para prevenir actividades ilícitas y garantizar la seguridad de la zona. La problemática se centra en la inseguridad y en la forma en que se realizan las inspecciones con el espejo de inspección vehicular, un método tradicional que puede ser ineficiente y propenso a errores humanos. Este enfoque manual no solo es lento y laborioso, sino que también depende en gran medida de la habilidad y atención del inspector, lo que puede resultar en fallos en la detección de armas ocultas. Además, las condiciones de iluminación y el diseño del vehículo pueden dificultar aún más la identificación precisa de amenazas potenciales. En consecuencia, existe una necesidad urgente de implementar soluciones tecnológicas avanzadas que permitan una detección más precisa, rápida y fiable de armas ocultas, mejorando así la seguridad y eficiencia en los controles de acceso vehicular.

B. Red neuronal

La arquitectura de las redes neuronales está inspirada en el cerebro humano, donde las neuronas forman una red interconectada que procesa información mediante señales eléctricas [1]. En una red neuronal artificial, las neuronas artificiales (nodos) están organizadas en capas: entrada, oculta y salida. La capa de entrada recibe datos del exterior, la capa oculta procesa y analiza estos datos, y la capa de salida produce el resultado final. Las redes neuronales profundas tienen múltiples capas ocultas con millones de conexiones entre nodos, lo que les permite realizar tareas complejas, pero requieren un extenso entrenamiento con grandes cantidades de datos.

C. Haar cascade

Haar Cascade es una tecnología de

detección de objetos utilizada en visión por computadora y reconocimiento de patrones. Se basa en una serie de señales visuales. Esta es un área rectangular de la imagen con una distribución de intensidad de píxeles específica. Estas características se utilizan para entrenar un clasificador que pueda identificar objetos interesantes en nuevas imágenes [2]. El proceso de entrenamiento implica proporcionar al clasificador una serie de ejemplos positivos y negativos del objeto a detectar. Tras el entrenamiento, el clasificador puede analizar nuevas imágenes y determinar la presencia o ausencia de objetos de interés y su ubicación aproximada.

El proceso de detección implica el uso de un clasificador en cascada, que es una estructura de varios clasificadores simples (o débiles) organizados en etapas. Cada clasificador en la cascada está entrenado para identificar una característica específica del objeto objetivo. El clasificador en cascada permite filtrar rápidamente áreas de una imagen que no contienen el objeto de interés, enfocándose progresivamente en áreas más prometedoras, lo cual aumenta la eficiencia del proceso de detección. El entrenamiento del clasificador requiere un conjunto de datos de entrenamiento compuesto por ejemplos positivos (imágenes que contienen el objeto) y ejemplos negativos (imágenes sin el objeto). Este conjunto de datos se utiliza para ajustar los parámetros del clasificador a través de algoritmos como AdaBoost, que selecciona las características más discriminativas y ajusta sus pesos para mejorar la precisión del clasificador.

D. AdaBoost

AdaBoost, o Adaptive Boosting, es un algoritmo de aprendizaje automático que se utiliza para mejorar el rendimiento de los modelos de clasificación. AdaBoost funciona creando una secuencia de modelos débiles (generalmente árboles de decisión) y luego los combina en un modelo fuerte ponderado. En cada iteración, AdaBoost aumenta el peso de las instancias mal clasificadas y disminuye el peso de las instancias correctamente clasificadas [3]. Esto hace que el algoritmo se enfoque más en las instancias difíciles de clasificar en las siguientes iteraciones.

Al final, AdaBoost combina todos los modelos débiles en un modelo fuerte mediante una votación ponderada. El resultado es un modelo que generalmente tiene un mejor rendimiento que cualquiera de los modelos débiles individuales. AdaBoost es ampliamente utilizado en la detección de objetos.

E. Tratamiento de imágenes

El tratamiento de imágenes en redes neuronales se refiere al proceso de manipulación de imágenes utilizando técnicas avanzadas de aprendizaje profundo [4]. Este proceso implica la utilización de algoritmos de redes convolucionales para llevar a cabo tareas de clasificación y segmentación de las imágenes. Este tipo de redes son especialmente eficaces en el procesamiento de imágenes. Las CNN aprenden a detectar patrones y características en las imágenes; esta capacidad les permite aprender y comprender imágenes de manera más completa y precisa.

F. Superficie inferior de los vehículos

Se refiere a la estructura y diseño de la parte inferior del automóvil, que cumple múltiples funciones capitales para su rendimiento y seguridad [5]. Esta área del vehículo está diseñada para proteger los componentes mecánicos vitales, como el motor, la transmisión y el sistema de escape, de daños causados por obstáculos en la carretera y para optimizar la aerodinámica del vehículo, reduciendo así la resistencia al aire y mejorando la eficiencia del combustible. Además, la superficie inferior también puede incluir elementos para mejorar la estabilidad, como deflectores de aire y difusores, así como sistemas de protección contra impactos para aumentar la seguridad en caso de colisión.

El Objetivo de la investigación, consiste en desarrollar una red neuronal capaz de detectar el arma SA-P92 ubicada en la superficie inferior de vehículos utilizando Haar Cascade y OpenCV.

El estudio se basa en la necesidad de contar con métodos automatizados y eficientes para la detección de amenazas en el contexto actual de seguridad global. Las técnicas tradicionales de inspección

vehicular, como el uso de espejos de inspección, no solo son laboriosas y lentas, sino que también presentan un alto riesgo de errores humanos debido a la fatiga y a las limitaciones físicas de los inspectores. Estas deficiencias pueden ser explotadas por individuos malintencionados para ocultar armas y otros dispositivos peligrosos, poniendo en riesgo la seguridad de las instalaciones estratégicas y de las personas que las ocupan.

La implementación de tecnologías avanzadas de visión por computadora y aprendizaje automático, como el uso de Haar Cascade y redes neuronales a través de OpenCV, ofrece una solución robusta y eficiente a este problema. Estas herramientas permiten la automatización del proceso de inspección, reduciendo significativamente el tiempo y los recursos necesarios para llevar a cabo las revisiones, al mismo tiempo que incrementan la precisión y fiabilidad de la detección.

El desarrollo de un sistema de detección de armas ocultas no solo representa un beneficio en la capacidad de respuesta ante posibles amenazas, sino que también libera a los recursos humanos para concentrarse en otras tareas críticas de seguridad. Además, este enfoque tecnológico puede ser adaptado y escalado para su uso en diferentes contextos y ubicaciones, aumentando su valor y aplicabilidad en una amplia variedad de escenarios de seguridad.

G. Hipótesis

La combinación del algoritmo Haar Cascade y las redes neuronales, implementada a través de la librería OpenCV, permite una detección efectiva y eficiente del arma SA-P92 en vehículos. La detección de armas mediante redes neuronales se basa en la metodología de Haar Cascade, donde múltiples neuronas se organizan secuencialmente, cada una encargada de detectar y clasificar características específicas en diferentes etapas del proceso.

Por ejemplo, una primera red neuronal puede identificar regiones prometedoras en una imagen que contiene objetos de interés, mientras que una segunda

red puede refinar la detección y clasificar los objetos detectados en estas regiones.

Este enfoque permite una detección más precisa y eficiente al aprovechar las fortalezas de diferentes modelos en cada etapa del proceso. En el contexto de la identificación de armas en la superficie inferior de los vehículos, las redes neuronales se emplean para mejorar la precisión y robustez del sistema. Esto es especialmente relevante en condiciones variables de luminosidad y visualización que se pueden evidenciar en el Cantón de Comunicaciones Militares de Facatativá. La pregunta de investigación que guía este estudio es: ¿Puede un sistema basado en Haar Cascade detectar con precisión el arma SA-P92 en la superficie inferior de los vehículos? El objetivo es validar esta hipótesis mediante la evaluación del modelo desarrollado, alcanzando niveles de precisión que demuestren su viabilidad y aplicabilidad en contextos reales de seguridad.

II. ESTADO DEL ARTE

A. Referencias nacionales

En los últimos años, se ha observado un aumento en la implementación de diversos sistemas de seguridad tanto en instituciones públicas como privadas. Estos avances responden a la necesidad de adaptarse a los desafíos y exigencias de los tiempos actuales, donde se implementan distintos mecanismos con el fin de minimizar las posibilidades de eventos catastróficos.

La red neuronal es un elemento que permite realizar predicciones precisas en un porcentaje elevado; La monografía para trabajo de grado denominada “*Pronóstico del Covid-19 en Colombia utilizando redes neuronales recurrentes con celdas de gran memoria de corto de plazo y unidades recurrentes cerradas*” [6] permite ver que las redes neuronales se han usado para diferentes propósitos, como por ejemplo, la predicción de datos sobre la situación del SARS COV 2 cuando los estudios epidemiológicos eran inexactos; es por eso que, también se logra involucrar en la identificación autónoma de irregularidades u objetos que no son usuales en sitios específicos, lo que conlleva a que sea una estrategia para reforzar la seguridad en la identificación de puntos

posiblemente “ciegos” para el personal con deficiencia en la caracterización de elementos.

En la monografía anteriormente nombrada, se destacan los aportes significativos de los modelos matemáticos utilizados en el estudio. Estos modelos permiten capturar las complejas interacciones y dependencias presentes en los datos relacionados con la evolución de la pandemia en Colombia, brindando así herramientas poderosas para realizar pronósticos precisos y contribuir a la toma de decisiones informadas en el manejo de la crisis sanitaria.

Adicionalmente, en el artículo “*Reconocimiento de lengua de señas colombiana mediante redes neuronales convolucionales y captura de movimiento*” [7], se resalta el papel fundamental de la inteligencia artificial y las redes neuronales, en particular la capacidad de los algoritmos convolucionales para predecir gestos en tiempo real. Este enfoque optimiza la precisión del reconocimiento, permitiendo una construcción más robusta y reduciendo significativamente los errores en la proyección de datos e imágenes.

El tratamiento de imágenes mediante técnicas de preprocesamiento y ajustes como el cambio de tamaño, reescalado y zoom, resulta fundamental para mejorar la calidad y la eficacia de los modelos de reconocimiento visual en proyectos de inteligencia artificial. Estas técnicas permiten normalizar los datos, evitar el sobreajuste a detalles irrelevantes y mejorar la capacidad del modelo para identificar patrones significativos en las imágenes. Integrar estas prácticas de procesamiento de imágenes en un proyecto propio puede potenciar la precisión y la robustez de los algoritmos de reconocimiento visual, facilitando así la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras y efectivas.

Las redes de datos se han usado de manera constante en la sociedad para la clasificación de información y así monitorizar todos los resultados entrantes a la misma; tal y como lo mencionan los autores de “*Inteligencia artificial para el control de tráfico en redes de datos: Una Revisión*” [8], esta técnica ha ido evolucionando por medio de la inteligencia artificial, permitiendo que la identificación

de imágenes con la recopilación de otros sea más exacta.

En el contexto de esta idea de investigación, la recolección de datos se ubica como un proceso fundamental que permite obtener información veraz, relevante y significativa para abordar la problemática o el tema de investigación de manera integral. A través de la selección de fuentes de datos, la definición de variables pertinentes y la aplicación de metodologías adecuadas, se busca garantizar la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos. En este sentido, la calidad de los datos recopilados no solo impactará en la solidez de los hallazgos, sino también en la credibilidad y relevancia del proyecto en su conjunto.

Igualmente, en el artículo “Reconocimiento de Objetos Usando Técnicas de Inteligencia Artificial” [9], se explica que el avance tecnológico ha brindado el desarrollo de múltiples técnicas para la identificación de imágenes inalcanzables ante el ojo humano, asegurando la disminución de errores en su uso específico y cotidiano.

La visión artificial, también conocida como visión por computador, representa un campo de estudio fundamental en la intersección entre la ciencia de la computación y la percepción visual. En la actualidad, su relevancia se ha vuelto cada vez más prominente debido a su capacidad para procesar imágenes de manera automatizada y extraer información significativa de ellas. A través de la aplicación de algoritmos y técnicas de inteligencia artificial, la visión artificial permite a las máquinas interpretar y comprender el mundo visual de una manera que antes solo era posible para los seres humanos. Este avance tecnológico ha abierto un amplio abanico de posibilidades en diversos campos en la industria de la seguridad, transformando la forma en que interactuamos con el entorno. Explorar y profundizar en las capacidades y aplicaciones de la visión artificial no solo representa un desafío, sino también una oportunidad para contribuir al avance de la ciencia y la tecnología en un mundo cada vez más digitalizado y visualmente orientado.

En el artículo de investigación “Implementación de Deep Learning en carreteras para reconocimiento de tráfico” [10], el uso de técnicas para el reconocimiento de tráfico en carreteras, ayuda a mejorar la infraestructura vial y contribuir al desarrollo de soluciones tecnológicas para la gestión eficiente de los actores viales en entornos urbanos, así mismo, tomar medidas o conductas antes de un suceso o peligro. Todo lo anterior, se reconoce como pilares para la identificación de caracteres especiales no usuales en vehículos que puedan ser causales de incidentes o riesgos ante peatones o personal cercano a dichos objetos.

La implementación de algoritmos de visión por computadora, en particular utilizando técnicas avanzadas como Deep Learning para el reconocimiento de tráfico en carreteras, representa un avance significativo en la mejora de la infraestructura vial y la gestión eficiente de los actores viales en entornos urbanos. La capacidad de identificar de manera precisa y oportuna características especiales no habituales en vehículos, así como comportamientos anómalos que puedan representar riesgos para peatones y otros individuos cercanos, es fundamental para prevenir incidentes y tomar medidas preventivas de forma proactiva. La precisión en la detección de estos elementos críticos no solo contribuye a la seguridad vial, sino que también sienta las bases para el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras que optimicen la movilidad urbana y promuevan entornos más seguros y eficientes en las carreteras.

Las investigaciones mencionadas se relacionan en su mayoría con el objeto principal de este estudio, ya que todo lo anteriormente mencionado plantea el uso de la red neuronal, como un medio para la resolución y adaptación a situaciones de interés que no son realizados con éxito por los seres humanos, logrando enlazar dicha inteligencia artificial con prototipos robóticos para la detección de objetos que no son diferenciados por la visión humana.

B. Referencias internacionales

En los últimos años, hablar de inteligencia artificial, internet o dispositivos tecnológicos es muy usado por sus características computacionales capaces de realizar actividades propias de los seres humanos, como su razonamiento y conducta. En el proyecto de grado que lleva por nombre “*Clasificación de imágenes usando redes neuronales convolucionales en Python*” [11], el aprendizaje automático programado permite tener esa capacidad de captar imágenes e identificarlas desde una base de datos de redes neuronales convolucionales.

El trabajo investigativo de Álvaro Artola Moreno, proporciona una sólida base de conocimientos sobre la construcción y funcionamiento de redes neuronales convolucionales, especialmente en el análisis de imágenes. Este trabajo ofrece una comprensión detallada de cómo las redes neuronales imitan el funcionamiento del cerebro humano en el procesamiento de datos, lo que resulta fundamental para el enfoque de esta idea de investigación. Además, al explorar los lenguajes de programación más utilizados en el campo de la Inteligencia Artificial y destacar conjuntos de datos relevantes, este trabajo brinda una guía valiosa para aquellos que deseen adentrarse en el desarrollo de aplicaciones basadas en redes neuronales.

La inteligencia artificial es una herramienta que permite crear habilidades en dispositivos similares a las acciones humanas, una de ellas es la red neuronal, quien es capaz de identificar y procesar datos rápidamente similares, contribuyendo a la certeza de cierta información dada o solicitada en sus procesos. En el artículo “*Una revisión del aprendizaje profundo aplicado a la ciberseguridad*” [12], la aplicación de redes neuronales en el ámbito de la seguridad se ha vuelto fundamental para comprender el potencial de estas herramientas frente a amenazas cada vez más sofisticadas; la capacidad de adaptación y detección de patrones propone perspectivas para abordar este tipo de desafíos.

El trabajo mencionado con anterioridad, describe modelos y técnicas específicas de redes neuronales y aprendizaje profundo

en ciberseguridad, y proporciona una base sólida y actualizada para la implementación de algoritmos inteligentes en la protección de la información. Al considerar la aplicabilidad de redes como el perceptrón multicapa, la red neuronal convolucional, la red neuronal recurrente y el aprendizaje de transferencia profunda, se abre la puerta hacia múltiples posibilidades para desarrollar un proyecto propio enfocado en el área de la seguridad. Estas técnicas ofrecen la capacidad de detectar intrusiones, identificar malware, predecir ciberataques y mucho más.

Las redes artificiales tienen la capacidad de recolectar datos suministrados por un proveedor y, con suficiente información específica y repetitiva, pueden reconstruir e identificar las tareas requeridas desde su programación. Esto se evidencia en el artículo *Aplicación de redes neuronales al diseño de vivienda colectiva* [13], donde se analiza cómo la aplicación de redes neuronales ofrece una perspectiva sobre la influencia de la inteligencia artificial en la arquitectura. En particular, se destaca el papel de los algoritmos de automatización generados en el proceso de diseño, los cuales permiten aumentar la personalización mediante datasets específicos, resaltando la importancia de su adaptación en diversas áreas de trabajo.

El estudio “*Aplicación de redes neuronales al diseño de vivienda colectiva*” [13] destaca la importancia de la variedad y calidad del dataset de imágenes en el entrenamiento de redes neuronales para la generación de diseños arquitectónicos. Este enfoque subraya la necesidad de recopilar y preparar datasets diversificados que reflejen la amplia gama de formas y estilos, evitando posibles sesgos y garantizando resultados precisos y adaptativos. Estos hallazgos pueden servir como guía valiosa para la investigación que se está llevando a cabo, enfatizando la relevancia de la selección cuidadosa y la diversidad de imágenes como un factor determinante en la efectividad.

Una de las principales funciones de las redes neuronales artificiales es la identificación de rostros, lo que permite su aplicación en el control de acceso a

espacios de seguridad ciudadana, así como en la activación y funcionamiento de equipos. Además, la optimización de los códigos utilizados en la configuración de estas redes posibilita la identificación de objetos inanimados con alto potencial de riesgo dentro del entorno en el que se encuentran, contribuyendo a la seguridad del espacio. Esto se evidencia en la investigación presentada en el documento *“Desarrollo de un Sistema basado en Deep Learning y visión computacional de reconocimiento facial para mejorar el control de acceso a una empresa privada”* [14], donde se analiza el impacto de la inteligencia artificial en la gestión y protección de accesos.

El estudio proporciona una perspectiva valiosa sobre el uso de OpenCV para el procesamiento de imágenes en un sistema de reconocimiento basado en redes neuronales artificiales. Esta información puede ser fundamental para la investigación del presente proyecto. Al aprovechar las capacidades de OpenCV para el procesamiento de imágenes, se puede mejorar la extracción de características únicas de objetos, la robustez del sistema ante variaciones y la precisión en el reconocimiento. La integración de este tipo de sistema puede aumentar la eficacia y confiabilidad de un sistema de reconocimiento.

Otro tema de importancia son los sistemas no tripulados, elementos que se usan en diferentes áreas recreativas y laborales por la facilidad de su uso. Estos mismos, también son usados para el reconocimiento y prevención de hechos que pongan en riesgo la integridad de los manipuladores de dichos elementos. Es por eso que, los autores de *“Opponent-Aware Planning with Admissible Privacy Preserving for UGV Security Patrol under Contested Environment”* [15] mencionan que los medios robóticos en combinación con un sistema de red neuronal, favorecen en un gran nivel, la identificación de objetos por medio de la recopilación de información previa.

Este artículo ofrece una guía significativa en el campo de la predicción al explorar y mejorar los modelos matemáticos utilizados en redes neuronales. A través de un enfoque meticuloso, se profundiza en la comprensión de cómo estos modelos

pueden ser optimizados para lograr predicciones más precisas y confiables en una variedad de aplicaciones. Al integrar metodologías avanzadas y datos relevantes, este estudio proporciona una base sólida para mejorar la eficacia y el rendimiento de las redes neuronales en la predicción, lo que podría ser de gran valor para proyectos futuros en diversas áreas. El aporte que ofrece este estudio se centra en los modelos matemáticos y cómo afectan al desempeño de las rutas de predicción y correcciones que realizan en el campo de acción de estas.

III. PROCEDIMIENTO Ó METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo el paradigma empírico analítico, enfatizando la objetividad, cuantificación y verificación real de la hipótesis planteada. Este enfoque buscó establecer relaciones causales mediante modelos matemáticos para el análisis de los datos obtenidos.

A. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que busca cuantificar las propiedades de los fenómenos de seguridad y analizar los datos mediante modelos matemáticos. Este enfoque permite identificar las necesidades existentes en la población beneficiada y evaluar las mejoras obtenidas tras el desarrollo del proyecto.

B. Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental. En este estudio, la variable independiente (sistema de inspección por visión artificial) fue manipulada intencionalmente para observar su efecto sobre la variable dependiente (inspección de la superficie inferior de los vehículos). Este diseño permitió analizar, de manera controlada y precisa, las consecuencias de la manipulación de las variables.

C. Método

Se aplicó el método deductivo, aplicando razonamiento científico para establecer relaciones y predicciones entre las variables. Este método permitió someter las hipótesis a pruebas empíricas para determinar si eran apoyadas o refutadas.

D. Instrumentos y herramientas empleados

Se empleó la biblioteca OpenCV para Python, utilizada en el procesamiento y análisis de imágenes, junto con el algoritmo Haar Cascade para la extracción de características. Además, se aplicó un cuestionario con preguntas cerradas y se empleó una matriz de datos para organizar los resultados obtenidos tras la ejecución del algoritmo.

E. Procedimiento y técnicas de recolección de datos

Observación de la zona de estudio: Se realizó una observación directa del área donde se llevaría a cabo la investigación.

Levantamiento de información informal: Se recopiló información preliminar mediante observaciones.

Encuestas: Se aplicaron encuestas conformadas por 10 preguntas cerradas a la población objetivo.

Recolección de las encuestas: Las encuestas fueron recopiladas y organizadas para su análisis.

Análisis y aplicación de estadística descriptiva: Los datos recopilados se analizaron utilizando técnicas de estadística descriptiva, permitiendo identificar tendencias y patrones relevantes.

Con base en lo anterior, la observación permitió reunir información precisa sobre temas de interés, mientras que la encuesta proporcionó datos concretos y claros de la población estudiada.

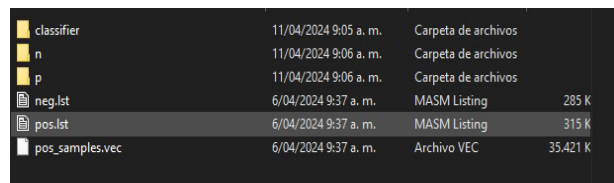
IV. ANÁLISIS RESULTADOS

Con el fin de establecer una base de datos precisa y completa para el reconocimiento de objetos en la parte inferior de vehículos, la investigación delimitó su entorno de búsqueda a la pistola SA P92. Se creó un conjunto de datos propio a partir de imágenes obtenidas al colocar la pistola debajo de un vehículo. Este proceso se llevó a cabo en colaboración con perso-

nal militar de inteligencia para garantizar una base de datos diversa y representativa.

Esto consolidó un total de 25.500 imágenes recopiladas. Con el dataset, se procedió a realizar el entrenamiento del clasificador de imágenes por medio del software Cascade Trainer GUI, el cual entrena el modelo de clasificador en cascada por una interfaz gráfica que permite elegir los parámetros para la utilización de herramientas de OpenCV. Para la utilización de esta aplicación, se especificó la ubicación del dataset tomado con anterioridad. Para la utilización de este software, se deben distribuir las imágenes positivas y negativas en carpetas separadas, nombrándolas como p (positivas) y n (negativas).

Figura 1. Carpetas de imágenes negativas y positivas.

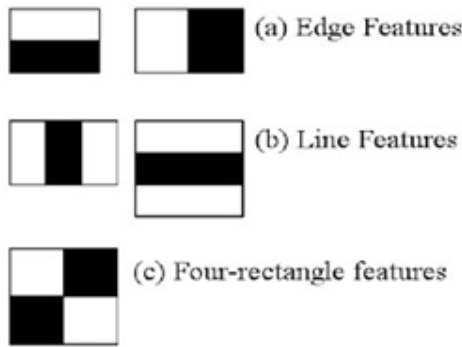


Nombre	Fecha y hora	Tipo	Tamaño
classifier	11/04/2024 9:05 a. m.	Carpeta de archivos	
n	11/04/2024 9:06 a. m.	Carpeta de archivos	
p	11/04/2024 9:06 a. m.	Carpeta de archivos	
neg.lst	6/04/2024 9:37 a. m.	MASM Listing	285 K
pos.lst	6/04/2024 9:37 a. m.	MASM Listing	315 K
pos_samples.vec	6/04/2024 9:37 a. m.	Archivo VEC	35,421 K

Al finalizar el entrenamiento, se genera un archivo XML con los valores de clasificación, utilizando Haar Cascade y sus características específicas, obtenidas restando la suma de píxeles bajo un rectángulo blanco de la suma de píxeles bajo uno negro [16]. Durante el proceso, se ajustaron los pesos de las características para minimizar el error de clasificación entre ejemplos positivos y negativos, seleccionando las más relevantes y determinando umbrales óptimos para una clasificación precisa.

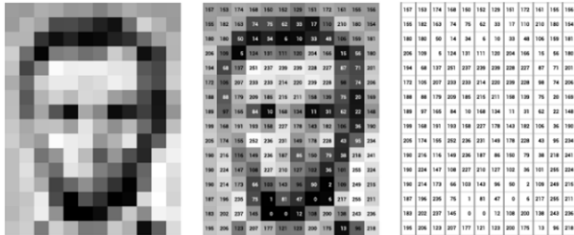
Posteriormente, las figuras ingresadas se transforman en imágenes integrales, lo que acelera los cálculos de las características Haar al evitar procesar cada píxel individualmente. Esto permite crear rectángulos y referencias de matriz para cada muestra, utilizadas luego en el cálculo de características. Las matrices de escalado en grises ajustan el tamaño de la imagen de entrada, facilitando la detección de objetos de distintos tamaños mediante la intensidad de píxeles, que varía de 0 (negro) a 255 (blanco) [17]. Con estos valores, se aplican características Haar a las regiones de interés en cada imagen escalada.

Figura 2. Creación de subrectángulos



Fuente [18]

Figura 3. Arquitectura del clasificador en cascada

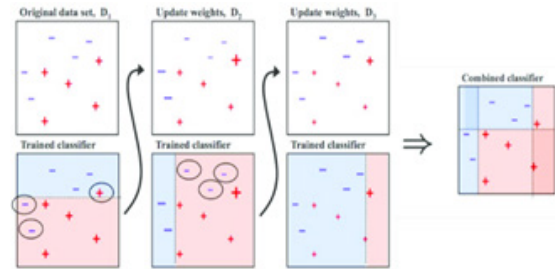


Fuente [19]

En el siguiente proceso, Adaboost, o *Adaptive Boosting*, construye un modelo combinando varios clasificadores débiles. Inicialmente, asigna pesos iguales a todas las instancias de datos y entrena un modelo débil dentro de un árbol de decisiones, aumentando el peso de aquellas instancias clasificadas incorrectamente. Después de cada iteración, ajusta los pesos, incrementando los de las instancias mal clasificadas y reduciendo los de las correctas.

Posteriormente, asigna valores a los modelos débiles según su rendimiento en la clasificación. Finalmente, combina estos clasificadores con un modelo fuerte, donde la importancia de cada uno se determina por su capacidad para clasificar correctamente durante el entrenamiento [20]. Este proceso se repite hasta que el modelo alcanza un nivel de precisión óptimo o un número predeterminado de iteraciones, generando un modelo robusto que supera el desempeño de los clasificadores débiles individuales

Figura 4. Algoritmo Adaboost



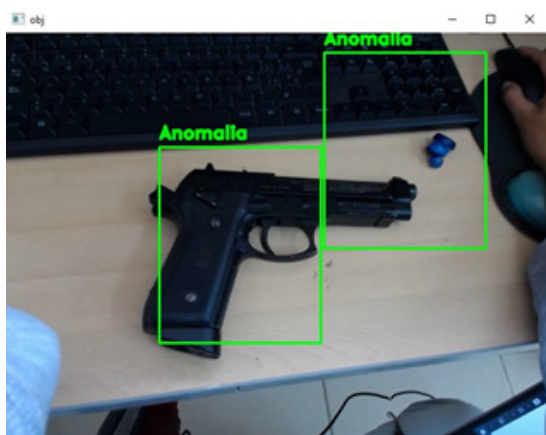
Fuente: [21]

Para el desarrollo de la red, se determinaron diferentes parámetros de configuración, como el sistema de recolección de imágenes, el entrenamiento del modelo y el reconocimiento. Utilizando la librería OpenCV en Python, se desarrolló un modelo de detección para el arma SA-P92.

El proceso se divide en tres funciones: recolección de imágenes, entrenamiento y reconocimiento. El proceso de recolección de imágenes toma fotos automáticamente del objeto que se quiere detectar, por medio del archivo XML generado con anterioridad. Este modelo se utiliza como base para la recolección de las imágenes. Al terminar de realizar la recolección del dataset, se pasa al segundo proceso, que es el del entrenamiento del modelo. Este entrenamiento se realiza por medio de diferentes métodos, como EigenFace y LBPHFace, cada uno con enfoques distintos. EigenFace utiliza Análisis de Componentes Principales (PCA) para reducir la dimensionalidad de las imágenes y encontrar características principales, pero puede ser sensible a variaciones de iluminación. LBPHFace, se basa en características locales utilizando Histogramas de Patrones Binarios Locales (LBP), que lo hace robusto frente a variaciones de iluminación y formas, ya que analiza patrones locales en pequeñas regiones de la imagen.

Al terminar de realizar el entrenamiento del modelo, se pasa al apartado de detección, donde se evalúa la efectividad de los modelos de entrenamiento. Estos modelos de entrenamiento no siempre van a ser 100% precisos, ya que puede existir la presencia de falsos positivos, en los que remarca una superficie u objeto que puede llegar a compartir alguna característica física con el objeto a identificar.

Figura 5. Detención de falsos positivos



Para mejorar la precisión del sistema de reconocimiento, es fundamental ajustar los parámetros de optimización, que son: Scale factor, minNeighbors y minSize. Scale factor controla la escala a la que se aplica la detección en las imágenes. Reducir el factor de escala puede aumentar la precisión al buscar objetos de diferentes tamaños; sin embargo, un factor de escala demasiado pequeño puede pasar por alto objetos más grandes o causar un aumento en los falsos positivos, mientras que un factor de escala más grande puede pasar por alto objetos más pequeños, pero aumenta la velocidad de detección en objetos grandes; por lo tanto, es importante determinar un equilibrio.

El parámetro minNeighbors controla la sensibilidad de la detección al número de vecinos requeridos para clasificar una región como positiva. Los valores altos tienden a reducir los falsos positivos al exigir una mayor coherencia en las detecciones. Cabe recalcar que si se manejan valores muy altos, se pueden perder detecciones válidas. El último parámetro, denominado minSize, especifica el tamaño mínimo del objeto que se debe detectar. Establecer este valor permite evitar la identificación de objetos no deseados o ruido en las imágenes. Los valores bajos pueden llevar a la detección de objetos irrelevantes o falsos positivos, mientras que los valores altos pueden pasar por alto objetos de interés legítimos. A continuación, se presenta una tabla con los valores de precisión y porcentajes de asertividad y falsos positivos.

**Tabla I
Parámetros de precisión**

Scale factor	minNeighbors	minsize	Detección	Falsos positivos
8.2	90	80,85	85%	15%
5	9	70,75	10%	90%
10	10	80,85	0%	0%
8	91	80,85	60%	40%
7.5	100	80,85	30%	70%
5	91	70,78	40%	60%
9.9	91	70,78	0%	0%
9.8	91	70,78	0%	0%
9.5	91	70,78	0%	0%
9	91	70,78	0%	20%
8.9	91	70,78	20%	80%
8.5	91	70,78	80%	20%
8	90	70,78	90%	10%

Al configurar estos parámetros, se logra minimizar los falsos positivos durante las inspecciones bajo los vehículos. Además, se establece un rango de detección específico para el arma SA-P92, destacando su ubicación y mostrando su identificación en pantalla para el personal que esté monitoreando en ese momento.

Figura 6. Alerta visual



V. CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema de detección del arma SA-P92 en la superficie inferior de los vehículos representa un avance significativo en las tecnologías de seguridad vehicular. Este proyecto ha permitido la creación de un sistema que aborda varias fases

decisivas: la recolección de imágenes para la creación del dataset; el desarrollo del algoritmo de entrenamiento y detección utilizando Haar Cascade y OpenCV en Python; y el análisis de resultados de precisión, con respecto a la detección del arma SA-P92.

La recolección de imágenes fue una fase fundamental para el desarrollo de la investigación. Se obtuvo un conjunto diverso de imágenes, abarcando diferentes condiciones de iluminación y ángulos de visión, lo que permitió generar un dataset representativo de escenarios reales. Este paso fue trascendental para asegurar que el algoritmo pudiera generalizar bien y ser aplicable en condiciones variadas. La diversidad de las imágenes recopiladas aumentó la capacidad del modelo para detectar el arma SA-P92 en situaciones reales, mejorando así la fiabilidad y robustez del sistema.

El desarrollo del algoritmo de detección implicó el uso de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático. Utilizando la librería OpenCV para Python y el algoritmo Haar Cascade, se diseñó un modelo capaz de identificar características específicas del arma SA-P92 en las imágenes. El proceso de preprocesamiento de imágenes, permitió que las características relevantes fueran extraídas con mayor precisión. La configuración de la red neuronal con múltiples capas ocultas y funciones de activación fue clave para manejar la complejidad de las características visuales y mejorar la capacidad del modelo para hacer predicciones precisas. También se mostró cómo la combinación de técnicas tradicionales de visión por computadora con redes neuronales, puede mejorar significativamente la precisión de la detección.

El análisis de los resultados de precisión mostró que el modelo alcanzó una precisión del 90% en la detección del arma SA-P92. Este nivel de precisión es indicativo de la efectividad del modelo en identificar correctamente el arma bajo diversas posiciones. Los resultados obtenidos no solo validan la hipótesis planteada al inicio del proyecto, sino que también destacan el potencial de aplicación de esta tecnología en sistemas de seguridad vehicular y en el control de acceso a instalaciones estratégicas.

La capacidad del modelo para mantener una alta precisión en diferentes etapas de validación refuerza su viabilidad práctica y su adaptabilidad a diferentes escenarios operativos.

Las aplicaciones futuras de este proyecto son variadas. Además de su uso en bases militares, este sistema puede ser implementado en puntos de control de seguridad en edificios gubernamentales y otros lugares sensibles donde la detección rápida y precisa es fundamental. La escalabilidad del sistema también permite su aplicación en diferentes contextos, adaptándose a las necesidades específicas de seguridad de cada entorno.

VI. REFERENCIAS

- [1] IBM, "El modelo de redes neuronales - Documentación de IBM". [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/saas?topic=networks-neural-model>
- [2] OpenCV, "Face Detection using Haar Cascades — OpenCV-Python Tutorials betadocumentation". [En línea]. Disponible en: https://opencv24-python-tutorials.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials/py_objdetect/py_face_detection/py_face_detection.html
- [3] Freddy Hernández, "6 AdaBoost | Modelos Predictivos". [En línea]. Disponible en: https://fhernanb.github.io/libro_mod_pred/adaboost.html
- [4] lis data solutions, "Deep Learning: clasificando imágenes con redes neuronales - LIS Data Solutions". [En línea]. Disponible en: <https://www.lisdatasolutions.com/es/blog/deep-learning-clasificando-imagenes-con-redes-neuronales/>
- [5] Goodyear, "¿Cuáles son las partes de un coche? - Kilometrosquecuentan.com". [En línea]. Disponible en: <https://kilometrosquecuentan.goodyear.eu/partes-coche/>
- [6] Y.A. Buitrago, "Pronóstico del COVID-19 en Colombia utilizando redes neuronales recurrentes con celdas de gran

- memoria de corto plazo y unidades
- [7] J. A. P. L. J. J. Gutiérrez Leguizamón, “Reconocimiento de lengua de señas colombiana mediante redes neuronales convolucionales y captura de movimiento | Tecnura”, *Tecnura*, vol. 26, n.o 74. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/19213>
- [8] D. A. León, J. G. Martínez, I. A. Ardila D J Mosquera, U. Distrital Francisco José De Caldas, I. A. Ardila, y D. J. Mosquera, “Inteligencia artificial para el control de tráfico en redes de datos: Una Revisión”, *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 16, núm. 31, pp. 17–24, jun. 2022, doi: 10.31908/19098367.2655.
- [9] W. G. Loaza, “Monografía Reconocimiento De Objetos Usando Técnicas De Inteligencia Artificial”.
- [10] K. D. Melo Rodríguez y E. D. Sastoque Beltrán, “Implementación de Deep Learning en carreteras para reconocimiento de tráfico”, 2019, doi: 10.1/JQUERY.MIN.JS.
- [11] Á. Artola Moreno, “idUS - Clasificación de imágenes usando redes neuronales convolucionales en Python”. [En línea]. Disponible en: <https://idus.us.es/handle/11441/89506>
- [12] D. Ivan, Q. Yagual, C. Andrés, C. Yagual, y I. A. Coronel Suárez, “Una revisión del Aprendizaje profundo aplicado a la ciberseguridad”, *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, vol. 9, núm. 1, pp. 57–65, jun. 2022, doi: 10.26423/RCTU.V9I1.671.
- [13] L. Álvarez Ayuso y F. L. del Blanco García, “Aplicación de redes neuronales al diseño de vivienda colectiva: procesos generativos de combinatoria y automatización mediante inteligencia artificial”, *Rita: Revista Indexada de Textos Académicos*, ISSN-e 2340-9711, ISSN 2340-9711, No. 16, 2021, págs. 214–231, núm. 16, pp. 214–231, 2021, doi: 10.24192/2386-7027(2021)(v16)(20).
- [14] J. L. Aguirre Montes, “Desarrollo de un sistema basado en deep learning y visión computacional de reconocimiento facial para mejorar el control de acceso a una empresa privada,” *Repositorio Institucional - UTP*, 2021, Accessed: [Online]. Available: <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5250>
- [15] J. Luo, W. Zhang, W. Gao, Z. Liao, X. Ji, and X. Gu, “Opponent-Aware Planning with Admissible Privacy Preserving for UGV Security Patrol under Contested Environment,” *Electronics* 2020, Vol. 9, Page 5, vol. 9, no. 1, p. 5, Dec. 2019, doi: 10.3390/ELECTRONICS9010005.
- [16] Unipython, “Detección de rostros, caras y ojos con Haar Cascad – ▸ Cursos de Programación de 0 a Experto © Garantizados”. Consultado: el 10 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://unipython.com/deteccion-rostros-caras-ojos-haar-cascad/#google_vignette
- [17] Unipython, “Detección de rostros, caras y ojos con Haar Cascad – ▸ Cursos de Programación de 0 a Experto © Garantizados”. [En línea]. Disponible en: <https://unipython.com/deteccion-rostros-caras-ojos-haar-cascad/>
- [18] OpenCV, “OpenCV: Cascade Classifier”. Consultado: el 16 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://docs.opencv.org/3.4/db/d28/tutorial_cascade_classifier.html
- [19] Jesús, “¿Cómo Se Representan las Imágenes en una Computadora? - DataSmarts Español”. [En línea]. Disponible en: <https://datasmarts.net/es/como-se-representan-las-imagenes-en-una-computadora/>
- [20] InteractiveChaos, “AdaBoost | Interactive Chaos”. [En línea]. Disponible en: <https://interactivechaos.com/es/manual/tutorial-de-machine-learning/adaboost>
- [21] Valentina Alto, “Comprender AdaBoost para el árbol de decisiones | de Valentina Alto | Hacia la ciencia de datos”. Consultado: el 16 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://towardsdatascience.com/understanding-ada-boost-for-decision-tree-ff8f07d2851>

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO BIODIGESTOR ELECTRÓNICO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE POLLINAZA DESTINADO A LA CRIANZA DE POLLOS EN LA FINCA SAN PEDRO EN ALBÁN CUNDINAMARCA

Ing. Juan Camilo Ávila Acosta
Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones
Líder Mantenimiento PTARnD SO Taos S.A.S
Juanavilaacosta@cedoc.edu.co

Ing. Eider Ferney Ávila Callejas
Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones
Instrumentista industrial Etsa S.A.S
Eideravilacallejas@cedoc.edu.co

Esp. Yeison Alfonso Buitrago Rojas
Asesor de investigación CEINV-ESCOM
Yeisonbuitragorojas@cedoc.edu.co

Resumen

Este artículo presenta el diseño y desarrollo de un biodigestor automatizado para la finca San Pedro en Albán, Cundinamarca, con el objetivo de optimizar la producción de biogás a partir de los residuos orgánicos (estiércol de aves) generados en esta. Mediante un sistema de control electrónico basado en ESP32, se monitorean y ajustan en tiempo real variables críticas como la temperatura y el pH, maximizando la producción de biogás. Esta innovación tecnológica permite sustituir el gas propano, reduciendo los costos de operación y promoviendo una agricultura más sostenible. El biogás generado se utilizará como combustible, disminuyendo la dependencia de fuentes fósiles, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Este proyecto representa un avance significativo en la implementación de energías renovables para el sector rural de Albán, Cundinamarca.

Palabras clave: Automatización, Biogás, Biodigestor, pH, Temperatura.

Abstract

This paper presents the design and development of an automated biodigester for the San Pedro farm in Albán, Cundinamarca, with the objective of optimizing the production of biogas from organic waste generated on the farm (manure, crop residues). Through an electronic

control system based on ESP32, critical variables such as temperature and pH are monitored and adjusted in real time, maximizing biogas production. This technological innovation makes it possible to replace propane gas, reducing operating costs and promoting more sustainable agriculture. The biogas generated will be used as fuel, reducing dependence on fossil fuels and contributing to climate change mitigation. This project represents a significant step forward in the implementation of renewable energies in the rural sector of Albán, Cundinamarca.

Keywords— Automation, Biogas, Biodigester, pH, Temperature.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda energética global, exacerbada por el cambio climático y la depleción de los recursos fósiles, ha impulsado la búsqueda de alternativas energéticas sostenibles y eficientes. La bioenergía, obtenida a partir de la conversión de biomasa en energía útil, se presenta como una opción prometedora para mitigar los efectos del cambio climático y la diversificación de la matriz energética. Dentro de las tecnologías de bioenergía, los biodigestores han cobrado especial relevancia debido a su capacidad de transformar residuos orgánicos en biogás, un combustible versátil con múltiples aplicaciones.

Aunque los biodigestores han sido ampliamente estudiados, existe un creciente interés en desarrollar sistemas más eficientes y automatizados que permitan optimizar la producción de biogás y reducir los costos operativos. Los sistemas de control electrónico, como los basados en microcontroladores ESP32, ofrecen una oportunidad para mejorar la gestión de los biodigestores, permitiendo un monitoreo continuo de las variables críticas del proceso y un ajuste automático de los parámetros operativos.

Sin embargo, aún existen vacíos de conocimiento en cuanto a la aplicación de sistemas de control electrónico en biodigestores a pequeña escala, especialmente en contextos rurales. Además, se requiere una mayor investigación para evaluar el impacto de estos sistemas en la eficiencia energética y económica de los biodigestores.

El presente estudio tiene como objetivo diseñar, construir y evaluar un prototipo de biodigestor automatizado para la finca San Pedro en Albán, Cundinamarca. Se plantea la siguiente hipótesis: la implementación de un sistema de control electrónico basado en ESP32 aumentará en un 20% la producción de biogás en comparación con un biodigestor tradicional. A través de este proyecto, se busca contribuir al avance del conocimiento en el campo de la bioenergía y promover la adopción de tecnologías sostenibles en el sector agrícola.

II. ESTADO DEL ARTE

- a. *Diseño de un biodigestor para la producción de biogás avícola, estudio de caso granja La carolina Vereda Kiwua, Garagoa, Boyacá.*

La investigación realizada en la Universidad del Bosque evaluó la viabilidad de implementar un biodigestor en una granja avícola ubicada en Boyacá, Colombia. El objetivo principal fue aprovechar la gallinaza, un subproducto de la actividad avícola, para generar biogás y así reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales. [1] El estudio se centró en el diseño y análisis de un biodigestor tipo indio, el cual fue selec-

cionado por su adaptabilidad a las condiciones locales. Los resultados del estudio mostraron que la implementación de este tipo de biodigestor sería no solo viable desde el punto de vista técnico, sino también económicamente atractiva, con un retorno de la inversión estimado en un año y seis meses.

Además de los beneficios económicos, la investigación destacó los impactos positivos del biodigestor en el medio ambiente, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución de la contaminación por gallinaza.

Un aspecto innovador de este proyecto fue el énfasis en la automatización de los procesos. Los investigadores propusieron el uso de sensores para monitorear variables críticas como la temperatura y el pH, con el objetivo de optimizar la producción de biogás y mejorar la eficiencia del sistema. En resumen, esta investigación demostró el potencial de los biodigestores para generar energía renovable en granjas avícolas, contribuyendo a la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental de esta actividad. Además, destacó la importancia de la automatización y el control de procesos para maximizar los beneficios de esta tecnología.

- b. *Dimensionamiento y modelado de un sistema de descomposición anaerobia para la producción de biogás a partir de desechos avícolas y análisis del impacto ambiental asociado a su ciclo de vida.*

Esta investigación, realizada en la Universidad Autónoma de Bucaramanga, propone la implementación de un sistema de biodigestión anaeróbica para transformar los desechos avícolas en biogás. El objetivo principal es generar energía eléctrica a partir del biogás producido, con el fin de reducir los costos energéticos en las granjas avícolas de Santander y Norte de Santander.[2]

El estudio se centra en el dimensionamiento y modelado del sistema de biodigestión, lo que permite optimizar su diseño y funcionamiento. Además, se realiza un análisis del ciclo de vida del sistema para evaluar su impacto ambiental en

todas las etapas, desde la producción de los materiales hasta la disposición final de los residuos.

Ambos trabajos coinciden en destacar los beneficios de los biodigestores, como la reducción de la contaminación ambiental causada por los desechos avícolas, la generación de energía renovable y la disminución de los costos energéticos en las granjas. Además, resaltan la importancia de la automatización y el control de los procesos para optimizar el rendimiento de los biodigestores.

A nivel internacional, la producción de biogás por medio de biodigestores se encuentra en un estado de desarrollo más avanzado que en Colombia. Aunque la producción global de biogás ha experimentado un crecimiento considerable en los últimos años, es difícil precisar una cifra exacta para el año 2025.

- c. *Generación de biogás en el grupo avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021, a partir de las excretas de las aves de corral. Propuesta de diseño de un biodigestor.*

Este estudio, realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador, se enfoca en la construcción de un biodigestor para tratar los desechos de una granja avícola en Riobamba. El objetivo principal es generar biogás como una fuente de energía alternativa, reduciendo así la dependencia de combustibles fósiles y disminuyendo el impacto ambiental de los residuos avícolas.[3]

La investigación propone un diseño específico de biodigestor, un balón de flujo continuo tubular, y estima la producción de biogás que se puede obtener a partir de la gallinaza. Además de los beneficios económicos, se destaca el impacto positivo en el medio ambiente, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la generación de un abono orgánico de alta calidad.

- d. *Obtención de biogás a partir de estiércol de aves para suministro de las incubadoras de la agropecuaria Chimú.*

Este estudio, realizado en la Universidad César Vallejo, Perú, propone la construcción de un biodigestor para tratar los desechos de una granja avícola en Puerto Eten. El objetivo principal es generar biogás para abastecer las incubadoras de la empresa, reduciendo costos y mitigando el impacto ambiental de los residuos avícolas.[4]

La investigación realiza un análisis detallado de la cantidad de estiércol disponible y estima la producción potencial de biogás. Además, destaca la importancia de implementar un sistema de control electrónico para optimizar el proceso de biodigestión y maximizar la producción de biogás.

Las cuatro investigaciones analizadas convergen en la idea de que los biodigestores son una tecnología prometedora para tratar los desechos avícolas y generar energía renovable. Sin embargo, cada estudio aporta una perspectiva diferente, ya sea enfocándose en el diseño del biodigestor, la viabilidad económica, el análisis del ciclo de vida o la implementación de sistemas de control.

La última investigación destaca la importancia de la automatización y el control de procesos para optimizar la producción de biogás y garantizar un funcionamiento eficiente y estable del biodigestor. Esta tendencia hacia la automatización es cada vez más evidente en el campo de la bioenergía y representa una oportunidad para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los sistemas de biodigestión.

III. PROCEDIMIENTO Ó METODOLOGÍA

Este capítulo presenta la ruta metodológica para desarrollar un sistema de producción de biogás a partir de estiércol de pollos de engorde (pollinaza) como alternativa al gas propano en fincas avícolas. El sistema involucra la adaptación y control de sensores de temperatura y pH para optimizar el proceso de fermentación anaeróbica y maximizar la producción de biogás.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se presenta a continuación la ruta metodológica que fundamentará la presente investigación.

A. Paradigma de la investigación

El estudio se basa en el paradigma empírico- experimental, se caracteriza por su énfasis en la recopilación de datos empíricos mediante la experimentación, con el objetivo de establecer relaciones causales entre variables y generar conocimiento científico [5], es decir, busca comprobar una hipótesis a través de la experimentación. En este caso, se quiere determinar si al controlar la temperatura y el pH en un biodigestor que utiliza pollinaza, se puede mejorar la calidad del biogás producido. La idea es reemplazar el gas propano utilizado en la Finca San Pedro por este biogás, optimizando así el proceso de producción avícola.

B. Tipo de investigación

Este estudio busca no solo optimizar un proceso biológico (producción de biogás) a través de la experimentación, sino también desarrollar una solución tecnológica concreta que tenga un impacto práctico en un contexto real (una granja avícola), y potencialmente, en la comunidad relacionada. La microetnografía busca desentrañar los significados culturales profundos que se encuentran en las interacciones cotidianas, analizando los símbolos y prácticas que construyen la realidad social en un contexto específico [6], es decir, podría agregar una dimensión cualitativa al estudio, permitiendo una comprensión más profunda del contexto social y cultural en el que se implementa la nueva tecnología.

C. Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo es un método de investigación que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para describir, explicar y predecir fenómenos [7], proporcionando datos numéricos para evaluar la eficiencia del biodigestor, mientras que el enfoque cualitativo estudia la realidad en su contexto natural y cómo sucede, interpretando fenómenos de acuerdo con las personas implicadas [8], esto permitirá comprender las percepciones y actitudes de quienes están involucrados. Esta combinación de enfoques fortalece la investigación al proporcionar tanto evidencia empírica como una comprensión contextual del problema.

D. Diseño de la investigación

El diseño experimental puro, o experimento aleatorio controlado, es un diseño experimental en el que hay dos o más grupos de sujetos, y todos los sujetos están expuestos a las mismas condiciones excepto una: la variable independiente. Esta variable es manipulada por el experimentador, y su efecto sobre la variable dependiente es medido y analizado [9]. Es decir, es un método riguroso que permite establecer relaciones causales entre variables al manipular de manera controlada una variable independiente y medir su efecto sobre una variable dependiente.

En este estudio, se aplicará este diseño para determinar el impacto de la temperatura y el pH en la producción de biogás a partir de pollinaza, con el objetivo de reemplazar el gas propano en la Finca San Pedro. Al manipular estas variables y medir la producción de biogás, se podrán establecer relaciones causales y optimizar el proceso de producción de biogás. Este enfoque cuantitativo, respaldado por autores como Campbell y Stanley, proporciona una base sólida para la investigación y permite obtener resultados precisos y confiables.

E. Método de la investigación

Este estudio emplea un enfoque metodológico mixto, combinando el método deductivo y el inductivo. Se parte de premisas generales [7], sobre la biodegradación de la materia orgánica y los principios de la ingeniería de bioprocesos (deducción) para formular hipótesis específicas sobre la optimización de la producción de biogás. Estas hipótesis serán contrastadas mediante la experimentación controlada (enfoque cuantitativo). Paralelamente, se utilizará un enfoque inductivo a través de entrevistas a propietarios de fincas para comprender las percepciones y experiencias locales, enriqueciendo así la comprensión del contexto y los resultados obtenidos. Esta combinación de métodos permite una aproximación holística al problema, fortaleciendo la validez y la relevancia de los hallazgos.

F. Técnicas de investigación

Cuando se realiza un trabajo de investigación, es necesario considerar los métodos, las técnicas e instrumentos como aquellos elementos que aseguran el hecho empírico de la investigación, donde método representa el camino a seguir en la investigación, las técnicas constituyen el conjunto de instrumentos en el cual se efectúa el método, mientras que el instrumento incorpora el recurso o medio que ayuda a realizar la investigación [7].

Las técnicas cuantitativas, como la medición estandarizada de variables mediante sensores y la aplicación de encuestas, permitirán obtener datos numéricos precisos para analizar el rendimiento del sistema de biodigestión y evaluar la necesidad de la solución propuesta. Por otro lado, las técnicas cualitativas, como las entrevistas en profundidad, proporcionarán una comprensión más rica y detallada de las percepciones y experiencias de los actores involucrados, enriqueciendo así la interpretación de los resultados cuantitativos.

Entrevista

La entrevista se selecciona como la técnica cualitativa principal debido a su flexibilidad y capacidad para explorar en profundidad los significados que las personas atribuyen a sus experiencias. Al ser un instrumento dinámico [10], la entrevista permite adaptar las preguntas y profundizar en temas específicos según las respuestas del entrevistado. De esta manera, se obtendrá información rica y detallada sobre las percepciones y actitudes de los propietarios de fincas respecto al biogás y su potencial implementación.

Observación directa experimental

La observación directa experimental se utilizará como técnica cuantitativa para establecer relaciones de causa- efecto entre las variables independientes (temperatura y pH) y la variable dependiente (calidad del biogás). Al manipular de forma controlada la temperatura y el pH en el biodigestor, se podrá observar su impacto directo en la producción y calidad del biogás. Esta técnica, según Hernández Sampieri, permite aislar el efecto

de las variables manipuladas, asegurando así la validez interna de los resultados [7].

G. Procedimiento de la investigación (Fases)

En este estudio, se ha adoptado una metodología de investigación secuencial, siguiendo el modelo en cascada propuesto por Pressman. Este enfoque, que consiste en una serie de pasos sistemáticos y organizados, permite alcanzar los objetivos de investigación de manera estructurada y eficiente [11]. Al igual que una cascada, cada fase del proceso de investigación fluye hacia la siguiente, asegurando una progresión lógica y ordenada.

a. Etapa de investigación de tecnologías para el desarrollo de un primer prototipo

Se consideró fundamental determinar el tipo de biodigestor más adecuado para la implementación de la electrónica y la mejora de los procesos de producción de biogás. Esta decisión se basará en una investigación exhaustiva de las tecnologías disponibles.

b. Diseño del prototipo versión 1.1.24 (Cámara de calor "Reacción anaeróbica")

La construcción de la cámara de reacción anaeróbica, donde se producirá el biogás, fue decisiva para iniciar el control de variables como la temperatura y el pH. Este paso permitirá evaluar el impacto de las siguientes etapas en la mejora del proceso.

c. Diseño del prototipo versión 1.2.24 (Cilindro de almacenamiento)

En esta fase se priorizó la adaptación del cilindro de almacenamiento de biogás, garantizando la seguridad del operador y determinando los tiempos óptimos de almacenamiento, sin necesidad de intervención tecnológica adicional.

d. Diseño del prototipo versión 1.4.24 (Automatización de la temperatura dentro de la cámara de calor)

Una vez completadas las etapas de fabricación del biodigestor, se estableció la base para optimizar los procesos, enfocándose en la manipulación y estandarización de la temperatura dentro del biodigestor. La estandarización, basada en la teoría y la práctica, determinó el rango óptimo de temperatura (en grados Celsius) para un proceso correcto.

e. Diseño del prototipo versión 1.5.24 (Automatización del pH)

El pH del sustrato era un factor concluyente en la generación de biogás. En esta etapa, se ajustó este parámetro de manera automatizada mediante un sensor de pH integrado, basándose en investigaciones previas sobre su impacto y las técnicas para optimizarlo.

f. Diseño del prototipo versión 1.2.24 (Cilindro de almacenamiento)

En esta fase se priorizó la adaptación del cilindro de almacenamiento de biogás, garantizando la seguridad del operador y determinando los tiempos óptimos de almacenamiento sin necesidad de intervención tecnológica adicional.

g. Diseño del prototipo versión 1.4.24 (Automatización de la temperatura dentro de la cámara de calor)

Una vez completadas las etapas de fabricación del biodigestor, se estableció la base para optimizar los procesos, enfocándose en la manipulación y estandarización de la temperatura dentro del biodigestor. La estandarización, basada en la teoría y la práctica, determinó el rango óptimo de temperatura (en grados Celsius) para un proceso correcto.

h. Diseño del prototipo versión 1.5.24 (Automatización del pH)

El pH del sustrato era un factor concluyente en la generación de biogás. En esta etapa, se ajustó este parámetro de manera automatizada mediante un sensor de pH integrado, basándose en investigaciones previas sobre su impacto y las técnicas para optimizarlo.

i. Diseño del prototipo versión 1.6.24 (Adaptación de un panel de control "Manejo y visualización de variables")

Se implementó un sistema de visualización de datos que permitió al usuario interpretar e interactuar con los rangos necesarios para mejorar el proceso, como el control de la temperatura y el pH.

IV. ANÁLISIS RESULTADOS

A. Análisis cualitativo

El análisis de las entrevistas realizadas a propietarios de granjas avícolas reveló un conocimiento generalizado sobre los biodigestores y su potencial para generar biogás a partir de los desechos orgánicos producidos en estas instalaciones.

Los participantes mostraron interés en explorar esta tecnología como una alternativa para reducir los costos energéticos, especialmente al sustituir el gas propano. Sin embargo, expresaron ciertas reservas respecto a la capacidad del biogás para satisfacer completamente las demandas energéticas de sus granjas, particularmente en lo que respecta a los sistemas de calefacción. A pesar de estas dudas, los entrevistados coincidieron en que los biodigestores representan una opción viable y beneficiosa tanto económica como ambientalmente. Los resultados sugieren que, aunque existe un interés inicial en la adopción de esta tecnología en el sector avícola, se requieren estudios más detallados para evaluar su viabilidad técnica y económica en condiciones reales de operación.

B. Puesta en marcha del sistema

Para iniciar las pruebas operativas del biodigestor electrónico, fue necesario llenar la cámara de calor con paja. Este proceso se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones establecidas para garantizar una proporción adecuada entre la materia orgánica y el agua, siguiendo los parámetros especificados en la Tabla I. Esta proporción resulta fundamental para crear un entorno óptimo que permita el desarrollo eficiente de los procesos de digestión anaeróbica, favoreciendo así la producción de biogás y el correcto funcionamiento general del sistema.

TABLA I
RELACIÓN AGUA / MATERIA DENTRO DE LA CÁMARA DE CALOR

Concepto	Pollinaza (Kg)	Agua (L)
Teórico	1	3
Práctico	1	2
Relación práctica		
Práctico	20	40

Fuente propia.

Para evitar que la mezcla de pollinaza quedara demasiado acuosa, se ajustó cuidadosamente la proporción de agua y materia orgánica siguiendo las indicaciones de la tabla I, específicamente en la columna "Relación Práctica". Esta relación fue seleccionada para mantener una mezcla adecuada, lo cual es fundamental para garantizar las condiciones óptimas dentro del biodigestor y asegurar un proceso eficiente de digestión anaeróbica.

C. Producción de biogás a base de pollinaza

En el estudio presentado, se analizó un sistema de biodigestión batch utilizando estiércol de pollo como sustrato para la producción de biogás. Se establecieron condiciones iniciales conocidas, como una cantidad de sustrato de 20 kg, un volumen de agua de 40 litros, una temperatura controlada de 45°C y un pH de 7.0. Con base en estos parámetros, se realizaron cálculos estimados para determinar la producción de biogás del biodigestor electrónico, considerando las limitaciones inherentes a este tipo de aproximaciones.

Se asumió un contenido promedio de materia orgánica olátil (MOV) del 40% en la pollinaza utilizada. Con una carga de 20 kg de estiércol, se calculó la cantidad de MOV presente como se muestra en la ecuación (1).

$$\text{MOV} = 20 \text{ kg} * 40 \% = 8 \text{ kg} \quad (1)$$

La estimación de la producción de biogás se basó en la cantidad de materia orgánica biodegradable (MOV) presente en el sustrato. La MOV representa la fracción del material orgánico susceptible de ser transformada en biogás por la acción de las bacterias. Al multiplicar la cantidad de MOV por el rendimiento específico, que

relaciona la cantidad de biogás producida por unidad de MOV como se muestra en la ecuación (2), se obtuvo una estimación de la producción total de biogás.

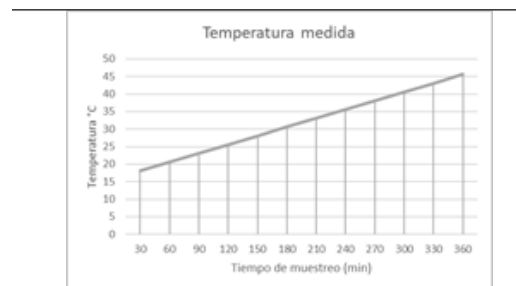
$$\text{Producción de biogás} \\ = 8 \text{ kg} * 0.15 \text{ m}^3 / \text{kg} \quad (2)$$

Considerando un **rendimiento promedio** de biogás de **0.15 m³ por cada kilogramo de MOV**, reportado en la literatura, se estimó una **producción total** de aproximadamente **1.2 m³** de biogás bajo las condiciones experimentales establecidas. Para asegurar un ambiente propicio para la actividad microbiana, se consideró que la cantidad de agua agregada era suficiente para mantener la humedad necesaria en el biodigestor. Además, se seleccionó una temperatura de 45°C, óptima para el crecimiento de la mayoría de las bacterias metanogénicas responsables de la producción de biogás. Finalmente, se ajustó el pH a un valor neutro de 7.0, lo cual favorece los procesos de digestión anaeróbica.

D. Análisis cuantitativo

En este estudio se realizó un análisis cuantitativo de las variables críticas presentes en una cámara de calor. Mediante observaciones directas y experimentales, se registraron los valores de estas variables, las cuales estaban siendo reguladas por subprocesos específicos. Este enfoque cuantitativo permitió obtener datos precisos y objetivos sobre el comportamiento de las variables bajo condiciones controladas, lo que facilitó una mejor comprensión de los procesos internos de la cámara y sentó las bases para futuras optimizaciones y análisis más detallados.

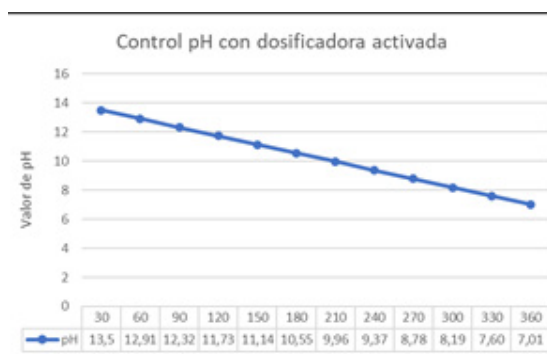
Figura 1. Gráfica de valores del control de temperatura con las resistencias calefactoras activadas



Fuente propia.

En la figura 2, donde se presenta el control de temperatura dentro de la cámara de calor, se observó una tendencia general al alza en la temperatura medida a lo largo del tiempo, siguiendo un patrón lineal. Sin embargo, se detectó un incremento más pronunciado durante la primera mitad del período de medición seguido de una estabilización. A pesar de esta tendencia ascendente, la desviación estándar de los datos resultó ser relativamente alta, lo que indica una considerable variabilidad en las temperaturas individuales respecto al valor promedio. Esto sugiere la presencia de factores que influyen en la temperatura de manera fluctuante. A pesar de esta variabilidad, es importante destacar que en ningún momento se superó el límite máximo de temperatura establecido, lo cual confirma que el proceso se mantuvo dentro de los parámetros permitidos.

Figura 2. Gráfica de valores del control de pH con dosificadora de pH activada



Fuente propia

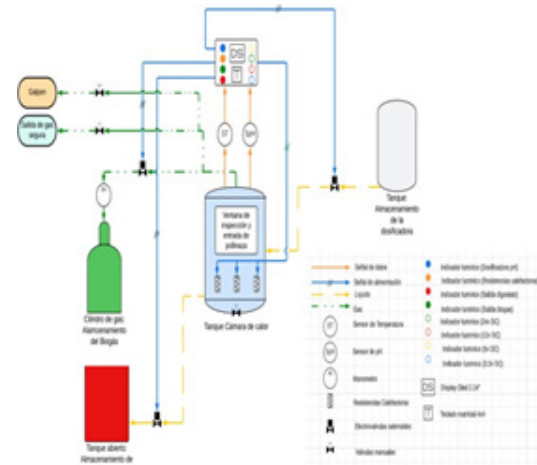
Como se muestra en la Figura 3, las mediciones de pH mostraron una clara tendencia a la acidificación a lo largo del período de estudio, aunque se mantuvieron consistentemente dentro de los parámetros establecidos. La significativa variabilidad en estas lecturas sugiere la presencia de factores internos que están influyendo activamente en la dinámica del pH del sistema.

E. Esquema Biodigestor electrónico

El sistema analizado, estuvo compuesto por un conjunto de elementos interconectados. Estos incluyeron un tanque principal que funcionaba como cámara de calor, un cilindro para almacenar el biogás producido, un tanque abierto destina-

do al almacenamiento del digestato y un tanque de dosificación para regular el pH.

Figura 3. Esquema del prototipo biodigestor electrónico



Adicionalmente, se integró un sistema de calefacción, una salida de biogás con doble función (suministro al galpón de pollos y liberación de presión). El flujo de los distintos fluidos se controlaba mediante tres electroválvulas estratégicamente ubicadas, complementadas por tres registros manuales que permitían realizar ajustes finos y operar el sistema de forma manual cuando fuera necesario.

La operación se gestionó desde un panel de control centralizado, que recibía datos de un sensor de pH para monitorear la acidez, un sensor de temperatura para medir la temperatura y un manómetro para indicar la presión del sistema.

Figura 4. Montaje final del biodigestor electrónico



La figura 4 presenta un sistema de energía renovable implementado en la Finca Avícola San Pedro, situada en la vereda Pantanillo de Alban, Cundinamarca. Este sistema, que aprovecha los componentes electrónicos previamente mencionados, un tanque de almacenamiento de acero inoxidable y tuberías de EMT, utiliza la pollinaza producida en el galpón de pollos de engorde como materia prima para generar biogás. Debido a la ubicación del sistema en una pendiente, se realizaron adaptaciones especiales para garantizar su estabilidad.

V. CONCLUSIONES

El desarrollo de un prototipo de biodigestor electrónico aplicado a una granja avícola demostró la viabilidad y eficacia de esta tecnología en la transformación de residuos orgánicos en energía renovable y fertilizantes. El control preciso de variables como la temperatura y el pH, gracias a la implementación de sensores y actuadores, optimizó el proceso de digestión anaeróbica y maximizó la producción de biogás.

La adopción de esta tecnología ofrece múltiples beneficios, tanto ambientales como económicos. A nivel ambiental, contribuye a la reducción de gases de efecto invernadero, mejora la calidad del suelo y fomenta la economía circular. A nivel económico, genera ahorros en los costos de energía, ingresos adicionales por la venta de biogás, así como fertilizantes, aumentando la sostenibilidad y competitividad de las granjas avícolas.

Sin embargo, para una mayor expansión y optimización de esta tecnología, se requieren esfuerzos adicionales en investigación, desarrollo y difusión. Esto incluye la exploración de sistemas de control más avanzados, la evaluación de la adaptabilidad a diferentes condiciones y la creación de programas de capacitación y asistencia técnica para los productores avícolas. Además, la participación multidisciplinaria y la creación de redes de colaboración, son fundamentales para acelerar la adopción de esta tecnología y maximizar sus beneficios a nivel social y ambiental.

En comparación con los biodigestores convencionales, el prototipo desarrollado

presenta una ventaja significativa al incorporar un sistema de control electrónico que permite un monitoreo y ajuste preciso de las variables del proceso de digestión anaeróbica. Esta innovación tecnológica optimiza la eficiencia, mejora la calidad del biogás y reduce el impacto ambiental. La flexibilidad del sistema lo hace adaptable a diferentes condiciones y sustratos, ampliando su potencial de aplicación.

En resumen, este estudio demuestra que la tecnología de biodigestores electrónicos representa una solución viable y sostenible para la producción de energía a partir de residuos orgánicos en granjas avícolas, contribuyendo a la transición hacia una economía circular y a la mitigación del cambio climático.

VI. REFERENCIAS

- [1] D. Rodríguez y J. P. Castañeda. (2021). "Diseño de un biodigestor para la producción de biogás en granja avícola, estudio de caso granja La Carolina Vereda Kiwua, Garagoa, Boyacá".
- [2] J. A. García. (2017). "Dimensionamiento y modelado de un sistema de descomposición anaerobia para la producción de biogás a partir de desechos avícolas y análisis del impacto ambiental asociado a su ciclo de vida", UNAB, Bucaramanga, Santander.
- [3] P. J. Fiallos Velasco. (2022). "Generación de biogás en el grupo avícola San Vicente de la ciudad de Riobamba en el año 2021, a partir de las excretas de las aves de corral. Propuesta de diseño de un biodigestor", UTC, Latacunga, Ecuador.
- [4] A. O. Prada Timaná. (2019). "Obtención de biogás a partir de estiércol de aves para suministro de las incubadoras de la agropecuaria Chimú", UCV, Chiclayo, Perú.
- [5] J. W. Babbie. (2016). "The Practice of Social Research," Cengage Learning.
- [6] Geertz, C. (1973). La interpretación de las culturas. Barcelona: Gedisa.

- [7] Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6a ed.). McGraw-Hill.
- [8] Blasco, P., & Pérez, S. (2007). Métodos de investigación en Psicología. Madrid: Pirámide.
- [9] Campbell, D.T., & Stanley, J. H. (1966). Diseños experimentales y análisis de datos. Buenos Aires: Amorrortu Editores.
- [10] Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). Qualitative data analysis: An expanded sourcebook. Sage Publications.
- [11] Pressman, R. (1995). Ingeniería del Software: Un enfoque práctico, (3ª Edición, Pag. 26-30). México, MCGraw Hill



ARTÍCULO
DE REVISIÓN
BIBLIOGRÁFICA

NUEVO PARADIGMA EN LAS TELECOMUNICACIONES: UN ESTUDIO DE LAS REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE - SDN

Alex Eduardo Morales Prasca
Ingeniero Electrónico y de Telecomunicaciones
alexmoralesprasca@cedoc.edu.co

Resumen

Este documento presenta una revisión bibliográfica del estado del arte sobre las redes definidas por software (SDN). Se exploran sus características como un sistema seguro, flexible y de fácil implementación para la optimización de recursos en redes, lo que impulsa el desarrollo de las telecomunicaciones y mejora la seguridad de las redes. La revisión incluye diversas plataformas SDN disponibles en el mercado, como OpenFlow, Mininet y Open Dayling. Para lograrlo, se empleó la metodología descriptiva basada en una revisión sistemática de literatura (SLR) de 54 artículos, extraídos de bases de datos como IEEE Xplore, ProQuest, Dialnet, Scopus, SciELO, Redalyc y el repositorio de la Universidad Santo Tomás (2020–2024). Actualmente, las empresas y organizaciones enfrentan una necesidad constante de actualización, ya que los diseños de redes convencionales resultan costosos y robustos, generando problemas en el servicio de datos digitales. En este contexto, se identifican alternativas como la nube (cloud) o la virtualización y sus componentes de infraestructura. Asimismo, la tecnología evoluciona rápidamente, ofreciendo importantes aportes para el desarrollo continuo de las actividades propias de las Fuerzas Militares de Colombia y el crecimiento de diversas empresas en sus procesos.

Palabras clave: Cloud, Redes, software, SDN, Telecomunicaciones.

Abstract

This document offers a bibliographic review of the state of the art based on SDN software-defined networks, as a secure, flexible, easy-to-apply system for the optimization of network resources, allowing the development of telecommunications and detecting the security of networks with the different

SDN platforms that exist on the market such as OpenFlow, Mininet and Open Dayling. To this end, a descriptive methodology was carried out with a systematic literature review (SLR) in 54 articles from the IEEE Explorer, Proquest, Dialnet, Scopus, Scielo, Redalyc and repository of the Universidad Santo Tomas databases (2020–2024). Currently, companies need to constantly update themselves, given the design of very expensive and robust conventional network structures, generating various service problems in digital data where different alternatives are identified such as the cloud, cloud or virtualization and its infrastructure components; likewise, technology is very changing and contributes to the development of the activities of the Colombian Military Forces and companies for their continuous development in their processes.

Keywords: Cloud, Networks, software, SDN, Telecommunications.

I. INTRODUCCIÓN

La era de las redes convencionales, basadas en protocolos de red tradicionales, ha impulsado una actualización constante. Sin embargo, los equipos de cómputo actuales demandan ventajas significativas en velocidad, datos y capacidad de usuarios, lo que implica un considerable esfuerzo económico. Esta situación a menudo retrasa el desarrollo de empresas e instituciones educativas. De manera similar, las instituciones militares enfrentan un rezago en sus sistemas de red convencionales, incapaces de soportar la alta demanda de información actual.

Como respuesta a las crecientes necesidades derivadas de la evolución tecnológica, las Redes Definidas por Software (SDN) emergen como una solución clave. Estas abordan los problemas

de conectividad y la falta de desarrollo tecnológico generados por las masivas actualizaciones y los requisitos propios de las aplicaciones modernas. Las SDN ofrecen una alternativa más favorable, económica y tecnológicamente óptima, al evitar los costos excesivos de mantenimiento y control asociados a los grandes cambios tecnológicos en la nube y sus constantes actualizaciones en la virtualización.

Evidentemente, como lo muestra la Figura 1, la principal diferencia entre una red convencional y una red SDN radica en el mecanismo de envío de los paquetes. En una red convencional, cuando un paquete llega al switch, las reglas definidas por el firmware del equipo indican hacia dónde transferirlo para alcanzar su destino, utilizando una trayectoria fija y tratando todos los paquetes de la misma manera.

En contraste, en las redes SDN, surge el concepto de programabilidad de red o distribución automática. Aquí, todas las operaciones de red se describen como programas de software, integrando algoritmos, estructuras de datos y conceptos de programación propios del entorno de desarrollo de software, sin necesidad de configurar switches individuales. En el contexto actual de amenazas cibernéticas constantes, esto permite una administración de redes más confiable [1].

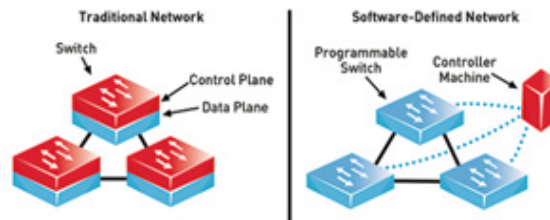
Por lo descrito anteriormente, el objetivo de esta investigación es efectuar una revisión sistemática de literatura sobre las redes definidas por software (SDN), analizándolas como un sistema seguro, flexible y de fácil aplicación para la optimización de recursos en redes de telecomunicaciones.

Las SDN, son caracterizadas a través de cinco aspectos fundamentales:

- Separación de planos (control, datos y gerenciamiento).
- Dispositivos programables y de bajo costo.
- Control centralizado (a través de un controlador que pueda gestionar dichos dispositivos).
- Virtualización y automatización de la red

- Caracterización de la apertura del código y estructuras a utilizar (Open Source).

Figura 1. Comparativa entre las redes tradicionales y SDN.



Fuente: [2]

Iniciando con el desarrollo tecnológico, existen entidades mundiales sin ánimo de lucro como la Open Networking Foundation (ONF), que impulsan la aceleración en la adopción de las SDN [3]. De igual forma, el Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF), una vasta comunidad internacional abierta, se dedica a la evaluación de la arquitectura de internet y al funcionamiento de las redes globales [4].

II. PROCEDIMIENTO O METODOLOGÍA

Este documento emplea una metodología descriptiva, cuya principal característica es narrar la naturaleza de un segmento demográfico; es decir, detalla el tema de investigación recopilando información que puede ser utilizada en un análisis [5]. Esta metodología suele emplearse como un método preliminar o para consultas más profundas. Para llevar a cabo la búsqueda de información, se consultaron bases de datos como IEEE Xplore, ProQuest, Dialnet, Scopus, SciELO y Redalyc. Se utilizaron descriptores clave como "Herramientas Tecnológicas", "Transformación Digital", "Educación", "Seguridad en Redes" y "Redes Informáticas civiles y militares". De aproximadamente 70 artículos científicos y revistas indexadas consultadas, se seleccionaron 54. La Tabla 1 detalla las bases de datos utilizadas, los descriptores y el número de artículos y revistas científicas correspondientes a cada uno.

TABLA I: Bases de Datos Referencias

BASE DE DATOS	DESCRIPTOR ES	No DE ARTÍCULOS
IEEE Xplore	Herramientas tecnológicas	19
Proquest		1
Dialnet	Transformación Digital	14
Scopus	Educación	3
Scielo	Seguridad en redes	4
Redalyc		1
Repositorio Universidad Santo Tomas	Redes informáticas civiles y militares	8

Fuente: Elaboración Propia

Para la búsqueda de información se tuvieron en cuenta:

- **Criterios de inclusión:** (a. Publicaciones dirigidas específicamente a los descriptores abordados y temas relacionados con Redes Definidas por Software; b. Estudios nacionales e internacionales c. Español e inglés).
- **Criterios de exclusión:** (a. No se tuvieron en cuenta artículos y revistas científicas que no tuvieran que relacionarse con el tema; b. Se indagaron publicaciones de fechas comprendidas del año 2020 hasta la fecha vigente 2024).
- **Principales limitaciones:** en el desarrollo de la búsqueda de información se presentó escasez de documentos con solo búsqueda de las SDN que se relacionan con diversos procesos como industria e implementación con objeto de estudio de Redes Locales, Cloud Computing, servidores inteligentes. Muchas de las fuentes bibliográficas encontraron publicaciones relacionadas con software externos de los sistemas.

El enfoque central de este artículo es el desarrollo de las Redes Definidas por Software (SDN). Este sistema cuenta con numerosas aplicaciones clave para el avance tecnológico, incluyendo el Internet de las Cosas (IoT), redes SD-WAN, arquitecturas de Protocolo de Control de Transmisión (TCP) / Protocolo de Internet (IP), virtualización de redes, voz sobre IP, ciberseguridad, redes convergentes y videojuegos. Todas estas nuevas tecnologías demandan una gran cantidad de datos para su transmisión y optimización.

III. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

Temas como el desarrollo tecnológico y la seguridad de la información son hoy fundamentales para las organizaciones y las instituciones educativas. Por ello, las Redes Definidas por Software (SDN) se estructuran en cinco secciones clave: *Transformación Digital*: Aborda la actualización constante de los sistemas de telecomunicaciones o software. *Seguridad en Redes*: Se centra en las vulnerabilidades existentes en el robo de información y la verificación de firewall como escudos del sistema de red. *Herramientas Tecnológicas*: Consiste en aplicaciones o software que contribuyen al mejoramiento de los procesos. *Redes Informáticas Civiles y Militares*: Sistemas de aplicaciones para instituciones militares o educativas que mejoran el ancho de banda para voz y datos. *Educación*: Los sistemas SDN apoyan el buen uso de la información y el desarrollo continuo de los estudiantes.

A continuación, se explica cada una de estas secciones en detalle.

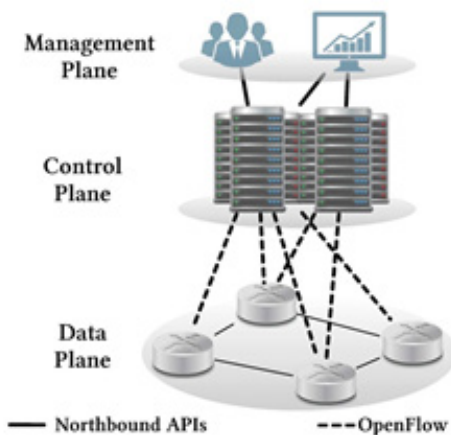
A. Transformación Digital.

Las nuevas tecnologías demandan una evolución constante debido a la gran cantidad de información que manejan. Por esta razón, las redes definidas por software (SDN) se perfilan como la próxima gran innovación en el sector de las redes. A diferencia del mecanismo tradicional, que utiliza *hardware* y *software* integrados para dirigir el tráfico a través de *routers* y conmutadores, las SDN ofrecen una alternativa más dinámica.

Con el avance tecnológico de la quinta

revolución industrial, emerge esta tecnología dinámica. Las SDN establecen controladores con inteligencia desarrollada en software, compuestos por tres capas: infraestructura, control y aplicación. El objetivo es proporcionar una guía sólida para la toma de decisiones en la implementación de redes alternativas [6].

Figura 2. Estructura funcional de red definida por software.



Fuente: [7]

En ese orden de ideas, como lo muestra la Figura 2, el uso principal de las SDN es visualizar la red, separando el plano de control que gestiona la red, del plano de datos por el que fluye el tráfico dentro de la infraestructura de las Tecnologías de la Información (TI). Con el creciente desarrollo de la transformación digital, numerosas empresas públicas y privadas deben adaptarse, generando así un crecimiento en sus labores, mejorando sus modelos de negocio y ahorrando costos en soluciones tecnológicas, todo esto debido a que las redes convencionales son una estructura cerrada y estática [8].

Actualmente, la transmisión de datos se emite por equipos muy robustos. Para la transformación a SDN, existen tanto *data centers* como orquestadores que utilizan modelos de gestión como ACI (Cisco Application Centric Infrastructure). Este último emplea un esquema de representación (MIT: *Management Information Tree*) para mapear las necesidades del cliente a particiones dinámicas de la infraestructura física del data center u orquestador [9].

De este modo, la función principal de las SDN en las redes informáticas es la capacidad de programar la red para que su trabajo sea más fácil y manejable, lo que corresponde a un gran ahorro en el gasto digital y la gestión del sistema. Es posible utilizar el *software* Mininet para simular el entorno SDN, estableciendo una red de simulación completa que incluye una gran cantidad de hosts, conmutadores, enrutadores y enlaces en el *kernel de Linux* [10].

Es por eso que las SDN representan un avance tecnológico notorio en las telecomunicaciones, donde los planos de control ofrecen numerosas ventajas en términos de gestión y programabilidad, debido a su control centralizado por *software*. Infortunadamente, estas características pueden ser explotadas por entidades maliciosas, que aprovechan el control centralizado para ampliar el alcance y las consecuencias de sus ataques. Cuando esto sucede, tanto el área legal como la técnica comienzan a recopilar información que los lleve a la causa raíz del problema [11].

La red definida por *software* (SDN) utiliza la idea de un plano de control jerárquico y un plano de datos para romper la rigidez de los equipos de red tradicionales y aumentar la escalabilidad mediante la programación. El plano de datos solo es responsable de reenviar datos de acuerdo con las reglas emitidas por el plano de control. La función del plano de control depende principalmente del controlador. Si bien el SDN tradicional se gestiona básicamente por un único controlador, en la aplicación práctica, con la expansión gradual de la escala de la red y el rápido crecimiento de la información de la red, la capacidad del controlador para procesar información ya no puede satisfacer las necesidades. La capacidad de la red SDN de un solo controlador no puede mantenerse al día. Con este desarrollo, es imperativo expandir SDN a SDN multi-dominio con múltiples controladores [12].

Las redes definidas por *software* (SDN) son un concepto innovador que busca centralizar lógicamente el plano de control de la red para automatizar la configuración de elementos individuales. Sin embargo, las fallas del controlador SDN impactan significativamente el rendimiento y la disponibilidad

de la red. Existen diversos modos de falla, tanto de *hardware* como de *software*, en las interrupciones del controlador SDN. Se han propuesto soluciones basadas en una Red de Recompensa Estocástica (SRN) para evaluar la disponibilidad de un grupo de controladores SDN [13].

Dentro de este orden de ideas, la seguridad de las redes se establece como una pieza clave. Por lo tanto, el análisis de la seguridad en SDN es extremadamente importante a medida que la tecnología avanza, ya que la topología del plano de datos y el plano de control concentran la mayoría de los estudios de seguridad, al ser los puntos donde se establecen más vulnerabilidades. Asimismo, los planos e interfaces que conforman la arquitectura presentan numerosas debilidades. Los principales ataques que se pueden encontrar incluyen: en las interfaces de programación de aplicaciones (API) en dirección a la capa de infraestructura (*southbound*), denegación de servicios, escuchas (*eavesdropping*), ataques de interceptación y ataques TCP; mientras que en las interfaces de la capa de aplicación (*northbound*) existen ataques de interceptación, escucha y disponibilidad [14].

En las redes móviles, desarrolladas mediante software y segmentaciones de red que permiten mayor flexibilidad y escalabilidad, el consumo de video *streaming* en su estructura se basa en enfoques de las redes definidas por software, facilitando así la transmisión de datos entre nodos de un punto a otro [15].

Para minimizar los obstáculos inherentes a las SDN, se introducen modelos de aprendizaje automático para monitorear y predecir la Calidad de Servicio (QoS). Adicionalmente, se propone un esquema de implementación y configuración de red basado en la predicción del rendimiento SDN a través de aprendizaje automático, estableciendo un modelo de regresión que impulsa una red neuronal (NNBoost). Este sistema supera a otros algoritmos de aprendizaje generados por topologías de red sintéticas y del mundo real. NNBoost logra resultados más bajos de error cuadrático medio (RMSE), error absoluto medio (MAE) y error porcentual absoluto medio (MAPE) para los valores máximos

y medios del tiempo de ida y vuelta (RTT), cambio a tráfico de controlador (S2C) y tráfico de controlador a controlador (C2C) [16].

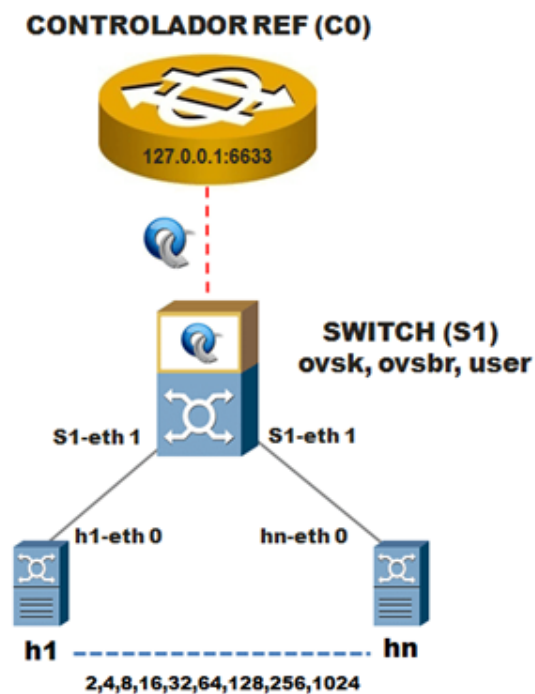
El desarrollo continuo de las TI establece que el aprendizaje de las Redes Definidas por Software (SDN) puede realizarse utilizando sistemas de aprendizaje basados en juegos. Estos representan medios de instrucción más interactivos para los estudiantes, permitiéndoles desarrollar nuevas habilidades y enfoques en su aprendizaje por competencias [17].

Si bien el IoT conecta miles de dispositivos electrónicos a través de la red y requiere numerosos métodos de control mediante una gestión de red dinámica y eficiente, este paradigma de las SDN desacopla el plano de control del plano de datos, permitiendo la programabilidad y el control de gestión. No obstante, en la automatización de redes altamente dinámicas y variables, su aplicación tradicional puede ser ineficaz [18]. La exigente demanda de tecnología con IoT se extiende a servicios de datos, video, audio, entre otros. Esto causa que las redes se saturen por la gran demanda de datos. Para ello, las SDN ofrecen numerosas ventajas que ayudan a la gestión de la red, permitiendo la configuración del tráfico y el enrutamiento de la red en el IoT mediante una amplia gama de aplicaciones [19].

B. Seguridad en Redes.

Cabe señalar que las SDN poseen un controlador inteligente que ejecuta software especializado. Este gestiona el tráfico de la red en un centro de datos a través de una serie de routers y switches que reenvían los paquetes. Sus principales ventajas incluyen la reducción de costos operativos y la mejora del rendimiento de la red. Su arquitectura abierta permite una mayor variedad de proveedores para las empresas que deseen migrar a estas redes. Además, facilita la medición del ancho de banda necesario, permitiendo así una evaluación de seguridad más precisa del sistema [20].

Cabe resaltar que las SDN separan los planos de control y los planos de datos, como se muestra en la Figura 3. Esto permite una prueba de escalabilidad

Figura 3. Prueba de escalabilidad SDN

Fuente: [21]

SDN utilizando una topología SINGLE, lo que presenta un desafío importante al requerir una robusta protección de la red y una comunicación segura entre dispositivos sin afectar el rendimiento. Asimismo, se establece una administración de claves de red para evitar problemas mediante bancos de pruebas, previniendo así futuros inconvenientes [22].

Si bien el gran desarrollo de servicios multimedia bajo demanda (VOD), ya sea por transmisiones en vivo o a través de redes sociales, ha impulsado a los proveedores de servicio a implementar servidores cerca de los clientes para reducir la latencia. Esto se logra mediante Redes de Entrega de Contenidos (CDN), una red superpuesta responsable principalmente del enrutamiento de solicitudes, distribución, entrega y auditoría optan por un almacenamiento en la nube, donde es necesario mejorar la capa física mediante una SDN. Estas se dividen en una capa de control y una capa de datos [23].

Ahora bien, las SDN son softwares que permiten agilidad y dinamismo en el envío de paquetes de datos, lo que resulta en la reducción de costos operativos y una transmisión segura de Voz IP. Dada la gran de-

manda empresarial, esto genera una evolución constante para que las compañías sean más competitivas [24]. Un caso de uso es la red Smart Grid (SG) habilitada por Internet de las Cosas (IoT), concebida como la red de próxima generación para una transmisión de energía eléctrica inteligente y eficiente. En el entorno SG, los medidores inteligentes (SM) intercambian servicios y datos de proveedores (SP) a través de canales públicos inseguros, lo que hace que todo el ecosistema SG sea vulnerable a diversas amenazas de seguridad. Motivados por estos desafíos, se incorpora la tecnología Digital Twin (DT), Software-Defined Networking (SDN), Deep Learning (DL) y *blockchain* en el diseño de una novedosa red SG. La red inteligente habilitada por IoT se ha convertido en una parte esencial en el desarrollo de sistemas energéticos en las ciudades modernas, con el objetivo de mejorar la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de la gestión energética [25].

C. Herramienta Tecnológica.

Visto de esta forma, las SDN (Redes Definidas por Software) surgen gracias al paradigma de la computación en la nube (*Cloud Computing*) y la virtualización. Dada la alta demanda de datos, estas redes buscan una gestión eficiente de los recursos [26]. Este nuevo sistema establece una arquitectura flexible y adaptable a cualquier necesidad, ya que es dinámica, separa los planos de red y, de este modo, mejora el control y la gestión de equipos al mantener la administración centralizada. Esto es crucial, ya que las redes tradicionales no satisfacen las demandas actuales [27].

Dentro de este marco, las SDN aceleran la entrega de aplicaciones y reducen los costos de TI a través de la automatización, optimizando los beneficios de la virtualización del centro de datos. Así, disminuyen la infraestructura robusta y los gastos generales del control del sistema [28]. Las SDN son un conjunto de técnicas del área de redes computacionales cuyo objetivo es favorecer la implementación dinámica y escalable de servicios de red mediante un software inteligente conocido como "controlador de red". Por lo tanto, este software es una alternativa dinámica que permite reemplazar la capacidad del hardware por software para soportar estos servicios de red, los

cuales se describen en tres capas de servicio: la capa de aplicaciones, la de control y la de infraestructura, mediante una API de comunicación ascendente y descendente [29].

Figura 4. Análisis de mercado de las SDN escalables pronóstico 2024 – 2029



Fuente: [30]

Las SDN han generado un gran interés en la industria y la educación, como lo muestra la Figura 4 en su avance y análisis de mercado. Esta tecnología busca simplificar la gestión de red estableciendo nuevas tendencias en los sistemas educativos. Por consiguiente, las universidades deben incursionar en esta temática, buscando un equilibrio en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las habilidades necesarias, lo que facilita la búsqueda y presentación de la información, y promueve el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, analítico y creativo entre docentes y estudiantes [31]. Aprovechando el desarrollo tecnológico actual, es viable conectar organizaciones mediante Redes Definidas por Software (SDN), utilizando, por ejemplo, un enlace principal sobre MPLS y otro de respaldo por Banda Ancha. Esto permite reemplazar equipos físicos y evitar la saturación de los canales de transmisión de datos, conmutando el tráfico en caso de afectación de los enlaces [32].

El sector empresarial produce actualmente grandes cantidades de tráfico de red, lo que ralentiza la transmisión de datos y afecta el correcto funcionamiento de los sistemas. Por ello, se requieren redes que soporten volúmenes masivos de tráfico, como las SDN. Mediante diferentes programas o softwares, se pueden realizar pruebas de latencia y jitter (fluctuación de fase) que evidencien un mejor desempeño de las redes TCP/IP sobre SDN [33].

Las SDN representan una innovación en la administración de redes de datos, por lo que también se les conoce como redes programables, generando confianza en los sectores industriales, empresariales y educativos. Su implementación ha sido lenta debido al desconocimiento de esta tecnología. Las redes tradicionales, además de ser robustas, incrementan los gastos operativos en supervisión y mantenimiento. En la actualidad, el uso de protocolos como OpenFlow, OVSDB, Controlador OpenDayLight, entre otros, en conjunto con conmutadores y funciones de virtualización, permite una mayor eficacia en la transmisión de datos [34].

Las comunicaciones son hoy en día vitales, tan importantes como el agua o el aire. Por este motivo, se ha establecido una nueva forma dinámica y económica de optimizar la infraestructura de las redes inalámbricas, automatizando todo el proceso. Se han realizado pruebas con OpenFlow para construir soluciones SDN [35]. En el mercado en línea actual, exigente en cuanto a calidad y servicio, se requiere gran cantidad de datos y estabilidad de conexión, como en el caso de los videojuegos en esta era digital. Un punto de desarrollo significativo fue la pandemia de la COVID-19, que impulsó el comercio digital [36].

Las redes definidas por software (SDN) han surgido como un método de red innovador que ofrece una gestión eficaz y una flexibilidad notable. Sin embargo, las soluciones actuales basadas en SDN se centran en redes estáticas o en redes troncales, donde la dinámica de la red tiene un impacto mínimo. Los métodos existentes para colocar entradas de flujo en sistemas de Internet de las Cosas (IoT) basados en redes definidas por software (SDN) presentan deficiencias a la hora de predecir con precisión los resultados y reducir eficientemente los errores en las tablas y las métricas de rendimiento asociadas. Un nuevo enfoque, particularmente el esquema de ubicación de entrada de flujo adaptativo consciente de la movilidad para entornos de Internet de las Cosas (IoT) basados en SDN, busca abordar el aspecto de movilidad de las redes. El esquema propuesto utiliza el algoritmo Q-learning para predecir la siguiente ubicación posible de los dispositivos finales, mientras que el algoritmo AdaBoost

sensible al costo, se emplea para seleccionar flujos intensos y activos [38].

Muchos enfoques tecnológicos se centran en las limitaciones inherentes a la programabilidad de la red y en la propiedad de los proveedores, lo que la involucra jerárquicamente. Las SDN, al enfrentar problemas de sincronización y orquestación, multiplican el esfuerzo del controlador por dominio y proveedor, lo que complica la programabilidad de la red. Por lo tanto, una posible respuesta a este problema es desarrollar una arquitectura unificada y no jerárquica, independiente de la tecnología y del proveedor [39].

Los controladores SDN deciden el servicio desde la interfaz de la capa de aplicación (northbound) mediante las direcciones de red, donde se acepta el servicio y se envían las rutas en conmutación. Para ello, existen muchas tecnologías que verifican los retrasos del servicio de red, donde se establecen ráfagas. En relación con la aleatoriedad de los servicios de red, existen muchos modelos para establecer el cálculo del envío de paquetes, como un nodo de conmutación en una ruta en función de la longitud de la salida del nodo; sin embargo, este solo aplica para conmutadores de cola de salida y conmutadores de cola compartidos [40].

Para la fase inicial en el diseño de redes definidas por software, se desarrolla una red de transporte jerárquica donde los conmutadores ópticos y las funciones de red son monitoreadas. Esto implica dos niveles de controladores SDN, estableciendo la gestión del orquestador centralizado basado en la red, distribuyendo a los usuarios los requisitos de aplicación. Dichos requisitos se comprueban con un entorno de simulación llamado Nube Openstack, y los nodos ópticos son establecidos por un agente de simulación [41].

El SDN NETCONF utiliza TCP para transmitir información de configuración en la implementación del servicio de red. Sin embargo, el TCP tradicional no puede establecer la velocidad de transmisión en función del estado de carga real de la red. Esto resulta en una baja eficiencia de configuración a pequeña escala. Para ello, se propone una novedosa red basada en SDN, la cual puede proporcionar una vista de red global

donde se establece una velocidad de transmisión óptima para los servicios de configuración. Para este fin, se realizó una simulación mediante la herramienta OPNET [42].

Dicho de otro modo, las redes convencionales están conformadas por switches y routers que posibilitan la comunicación entre clientes y servidores físicos, generando redes complejas de manejar debido a la configuración individual de cada equipo. Es aquí donde las SDN permiten el control centralizado y la programabilidad en la gestión de las redes mediante la separación de planos, obteniendo así un mayor rendimiento, flexibilidad y escalabilidad en la aplicación de servicios de red, a través de softwares como OPEN FLOW [43].

Las SDN utilizan una tecnología de un solo controlador u orquestador, lo que puede generar un único punto de falla y problemas de escalabilidad. Actualmente, existen muchos controladores para verificar los errores de red, permitiendo a los administradores un control eficiente de los problemas de coherencia del estado. Dado que estas tecnologías necesitan una velocidad enorme, se ha establecido un controlador de SDN conocido como KANDOO, que divide el controlador en dos categorías: controlador de raíz y controlador local. El primero se encarga de mantener el estado global, mientras que el segundo administra la ejecución de servicios de aplicación [44].

En este sentido, se comprende que el Internet de las Cosas (IoT), como tecnología multidimensional, puede desarrollarse en múltiples campos, mejorando las experiencias incluso con limitaciones de energía y recursos. Las SDN surgen como una tecnología externa para su desarrollo continuo, permitiendo que el IoT sea más confiable, escalable y garantice un rendimiento óptimo. Su uso es más flexible en sus múltiples combinaciones tecnológicas, como la virtualización de funciones de red (NFV) e Inteligencia Artificial (IA) [45].

Los ataques de denegación de servicio distribuido (DDoS) hacen que un servidor no responda al inundar el servidor destino con un gran volumen de paquetes, manteniendo las conexiones

abiertas durante mucho tiempo y agotando los recursos en ataques de baja intensidad y lentos, o mediante protocolos de focalización. Dado que son ataques realizados por protocolos, mediante las SDN se establecerá una comunicación de datos mucho más rápida y segura, mitigando todos los ataques relacionados [46].

D. Redes Informáticas Militares y Civiles

Resulta claro que las arquitecturas de red se están transformando en redes definidas por software, ya que estas permiten mejorar la confiabilidad y resiliencia de la red. Son administradas por múltiples controladores. Para ello, se ha establecido un sistema denominado PSO (Optimización de Enjambre de Partículas), que emplea parámetros dinámicos para generar un espacio bidimensional continuo, logrando así una reducción del 10% en el retardo de transmisión promedio del controlador de conmutación tras mejorar el algoritmo [47].

Cabe resaltar que la tecnología de red está migrando actualmente a 5G, 6G, IoT, y las redes de línea fija enfrentan diversos requisitos de servicio. En este contexto, se implementará un nuevo sistema como las redes definidas por software (SDN) y la virtualización de funciones de red (NFV), debido a la gran demanda de datos y la confiabilidad de un nuevo algoritmo de incorporación SFC para el mejoramiento de recursos físicos, consideradas soluciones prometedoras para satisfacer los diversos requisitos de servicio [48].

Es por eso que, en la separación de planos de datos y control, se estableció la estrategia de administración basada en redes definidas por software, ya que este sistema facilita el despliegue de nuevas aplicaciones y servicios. Uno de sus componentes, el hardware de red, permite la conexión e instalación, aumentando la velocidad de datos y el tráfico de red. Sin embargo, cabe aclarar que existen debilidades en este sistema de arquitectura, donde intrusos pueden detener la infraestructura y sus operaciones. Para ello, se establece una clasificación de ataques basada en un aprendizaje legítimo para clasificar hosts fidedignos y maliciosos, permitiendo el bloqueo de tráfico no deseado [49].

Este análisis para la guerra inteligente estableció requisitos más altos para las redes de información y comunicación, donde el futuro campo de batalla implicará la optimización oportuna de la transmisión y el control de armas auxiliares remotas, generando gran velocidad de datos y un ancho de banda considerable [50]. Se desarrollan aplicaciones para respaldar la configuración adaptativa de los flujos de datos del usuario a través de velocidades admitidas por radios VHF y UHF, con el fin de garantizar la eliminación de mensajes caducados. Esto se estableció mediante resultados experimentales en una red emulada, donde la diferencia entre los flujos de datos en una red táctica reside en el tiempo para garantizar los requisitos de QoS [51].

Las redes emergentes impulsaron la búsqueda de nuevas tecnologías de gestión, como Digital Twin (DT). Esta tecnología ayuda a modelar comportamientos de red para administrar los recursos de la mejor manera, optimizando los objetivos mediante la interconexión de varios DT y actualizando el estado de red digital en tiempo real [52].

Figura 5. Controladores SDN de código abierto



Fuente: [53]

Los simuladores de redes de comunicación de software, como se muestra en la Figura 5, se expanden cada año. Uno de los más implementados es MININET, que permite simular la interacción entre conmutadores OpenFlow y un controlador SDN. Las soluciones propuestas con este tipo de simuladores buscan reducir la carga computacional en el controlador, aumentando la eficiencia mediante la transmisión de datos [53]. En cuanto a las Redes de Área Local Virtual (VLAN), si bien han generado ventajas para la industria de las Tecnologías de la Información (TI) por su función controlada en áreas locales

virtuales, su construcción es compleja y vulnerable, requiriendo mucho tiempo para subsanar errores. Las SDN, en su forma más ambiciosa, permiten desarrollar simulaciones en diversas herramientas de conexiones de topologías, como CISCO PACKET TRACER, MININET y Red Hat Enterprise, para finalmente analizar la red híbrida entre las VLAN, mejorando los sistemas de seguridad de datos [54].

E. Educación

En todo caso, se comprende que la tecnología ayuda a la educación a mejorar los resultados en los procesos de enseñanza y aprendizaje, siendo una herramienta fundamental para el docente al crear nuevas metodologías didácticas. Este proceso fomenta que el estudiante sea más responsable de su propio aprendizaje [55]. Actualmente, las empresas y las instituciones educativas, con sus configuraciones de red y nodos convencionales, no están adecuadas para el enorme requerimiento de datos, considerando la distribución de redes en la capa superior. Para las instituciones educativas, es importante considerar el controlador FLOODLIGHT mediante la herramienta MININET, lo que permite generar una gran cantidad de puntos de acceso virtuales [56].

Sin duda, en las instituciones educativas, la tecnología SDN ha desarrollado entornos virtuales simulados, generando necesidades de red que permiten una mejor administración y mantenimiento. Esto es decisivo, ya que las redes inalámbricas requieren un buen ancho de banda para transportar archivos de información más pesados, así como para las actualizaciones del sistema [57].

Finalmente, el desarrollo tecnológico de las instituciones educativas demanda estabilidad, eficiencia, seguridad y escalabilidad. Por este motivo, las Redes LAN han quedado obsoletas, y el desarrollo continuo permite que las organizaciones financieras y las sedes educativas evolucionen según las necesidades actuales [58]. Para ello, las SDN ofrecen posibilidades de interacción y gestión unificada, destacando por su:

1. **Flexibilidad:** El flujo de datos se ajusta dinámicamente a los cambios de la red.
2. **Programabilidad:** Permite establecer reglas de flujo mediante programación.
3. **Capacidad de gestión:** Ofrece un control de red centralizado.
4. **Rentabilidad:** No se necesita estar atado a *software* propietario. [59]

Muchas instituciones universitarias a nivel nacional e internacional están implementando este sistema de red en la enseñanza de las SDN. Ejemplos incluyen la Universidad de la Ciudad de Nueva York, la Universidad de Colorado, la Universidad de Stanford, la Universidad de Princeton, la Universidad Tecnológica Nacional de Argentina, la Universidad Católica de Pereira y la Universidad Pontificia Bolivariana en Colombia. Utilizan una herramienta de emulación como Mininet para la enseñanza de SDN, construyendo laboratorios con prácticas reales que soportan OPENFLOW para la investigación y las prácticas [60].

IV. CONCLUSIONES

- La automatización y centralización del control en las redes SDN pueden reducir significativamente los costos operativos para los proveedores de servicios, al tiempo que mejoran la eficiencia en la gestión y el mantenimiento de la red.
- Las SDN en telecomunicaciones ofrecen mayor flexibilidad y escalabilidad. Esto permite a los proveedores de servicios adaptarse rápidamente a las demandas cambiantes del mercado y escalar la capacidad de la red según sea necesario.
- Las Redes Definidas por *Software* crean un entorno propicio para la innovación. Esto permite a los proveedores de servicios desarrollar y desplegar nuevas aplicaciones de manera más rápida y eficiente, diferenciándose en un mercado competitivo y ofreciendo mejores experiencias al usuario.

- Con las SDN, los proveedores de servicios pueden optimizar el rendimiento de la red y garantizar una experiencia del usuario consistente y de alta calidad. Esto se logra mediante la implementación de políticas de gestión de tráfico y la asignación dinámica de recursos.
- La migración a SDN en telecomunicaciones es un proceso gradual que requiere planificación cuidadosa y una transición progresiva de la infraestructura existente. Sin embargo, a medida que la tecnología evoluciona y madura, se espera que las SDN tengan un papel cada vez más importante en la transformación digital de las telecomunicaciones.
- Según las normativas del Ministerio de las TIC, específicamente el documento CONPES 3975, no existe un control o regulación sobre esta nueva tecnología. Esto omite la supervisión de un sistema tecnológico que le compete directamente a dicha entidad.

V. REFERENCIAS

- [1] Daniel Alberto Priano, "Análisis de protocolos de enrutamiento en redes definidas por software (Software Defined Networks)," 2021.
- [2] Figura 1: V. Álvarez Martínez, "Las redes definidas por software, ¿qué son?," Broadcast & IT. [En línea]. Disponible en: <https://broadcast.aicox.com/las-redes-definidas-por-software-que-son/>.
- [3] OpenNetworkingFoundation. «About the Open Networking Foundation | Mission, Members, Training, Partners». Accedido 15 de agosto de 2023. <https://opennetworking.org/mission/>.
- [4] Internet Society. «Acerca del Grupo de trabajo de ingeniería de Internet (IETF)». <https://www.internetsociety.org/es/about-the-ietf/>.
- [5] Muguira, Andres. «¿Qué es la investigación descriptiva?» QuestionPro (blog), 23 de octubre de 2018. <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-descriptiva/>.
- [6] S. Bicry, "Arquitecturas De Redes De Computadoras Definidas Por Software: Revisión Bibliográfica," 2020.
- [7] Figura 2: Software-Defined Networking Functional Structure." [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Software-dened-networking-functional-structure_fig1_317018263.
- [8] J. Mocha, Geovanny; Celleri, "Análisis Comparativo de Protocolos de Comunicación para Redes definidas por Software," Hamut' Ay, vol. 7, no. 3, p. 39, 2021, doi: 10.21503/hamu.v7i3.2190.
- [9] L. Aristizabal, "Modelo De Coordinación Para La Actividad Autorregulada En Redes Definidas Por Software," 2022.
- [10] E. Muhamad, Hasan; Hisham, Dahan; Essam, Abdelwanees; Aly, "Evaluación comparativa y analisis de resultados del emulador SDN MININET," pp. 5-10, 2023, doi: 10.1109/NILES50944.2020.9257913
- [11] M. B. Jimenez and D. Fernandez, "A Framework for SDN Forensic Readiness and Cybersecurity Incident Response," 2022 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), Phoenix, AZ, USA, 2022, pp. 112-116, doi: 10.1109/NFV-SDN56302.2022.9974648
- [12] K. Lu, "Design and Evaluation of A Multi-domain Software Defined Network," 2022 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS), Hengyang, China, 2022, pp. 86-89, doi: 10.1109/ICITBS55627.2022.00027.

- [13] A. M. M. Paing, "Analysis of Availability Model Based on Software Aging in SDN Controllers with Rejuvenation," 2020 IEEE Conference on Computer Applications (ICCA), Yangon, Myanmar, 2020, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICCA49400.2020.9022818.
- [14] D. López, Alexander; González, Henry; Gainza, "Propuesta De Metodología Para El Analisis De Seguridad En...," vol. 14, no. 1, pp. 45-59, 2021, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8590610>.
- [15] G. Chavez, Jose; Campo, Muñoz; Chanchi, "Arquitectura Para Implementación De Servicios De Video Sobre Redes Móviles Mediante Redes Definidas Por Software Y Segmentación De Red," vol. 2, p. 42, 2023, doi: <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i42.2651>.
- [16] M. Jiang, Weiwei; Han, Haoyu; He, "Predicción del rednimiento de SDN previa a la implementación basada en ML con red neuronal que impulsa la regresión.," Expert Syst. Appl., vol. 241, no. November 2023, p. 122774, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122774
- [17] A. Jairo, "Implementación de una estrategia pedagógica para la enseñanza y aprendizaje de las Redes Definidas por Software en el laboratorio de telemática de la Universidad de Pamplona sede Villa del Rosario," 2021.
- [18] I. Bedhief, M. Kassar, T. Aguil, R. Boughanmi and O. Nijaoui, "Auto-Scalable Software Defined Networking Control Plane for Internet of Things," 2023 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Gammarth, Tunisia, 2023, pp. 868-871, doi: 10.1109/ISCC58397.2023.10218160.
- [19] P. Kamboj, S. Pal and A. Mehra, "A QoS-aware Routing based on Bandwidth Management in Software-Defined IoT Network," 2021 IEEE 18th International Conference on Mobile Ad Hoc and Smart Systems (MASS), Denver, CO, USA, 2021, pp. 579-584, doi: 10.1109/MASS52906.2021.00082.
- [20] Figura 3: Prueba de Escalabilidad SDN Utilizando La Topología SINGLE." [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Figura-37-Prueba-de-escalabilidad-SDN-utilizando-la-topologia-SINGLE-Fuente-Autor_fig6_312187600.
- [21] B. Oviedo, Bryon; Zhuma, Emilio; Bowen, Genesis; Patiño, "Implementación de una red definida por software que permita brindar servicio de VOIP Seguros," J. Bus. Theory Pract., vol. 10, no. 2, p. 6, 2021, [Online]. Available: http://www.theseus.fi/handle/10024/341553%0Ahttps://jptam.org/index.php/jptam/article/view/1958%0Ahttp://ejournal.undana.ac.id/index.php/glory/article/view/4816%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/23790/17211077_Tarita_Syavira_Alicia.pdf?sequen.
- [22] H. AL-Hamdani and W. S. Bhaya, "A Proposed Cryptography Key Management in Software-Defined Networking (SDN)," 2023 6th International Conference on Engineering Technology and its Applications (IICETA), Al-Najaf, Iraq, 2023, pp. 22-28, doi: 10.1109/IICETA57613.2023.10351402.
- [23] H. Yang, H. Pan and L. Ma, "A Review on Software Defined Content Delivery Network: A Novel Combination of CDN and SDN," in IEEE Access, vol. 11, pp. 43822-43843, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3267737.
- [24] B. Oviedo, Byron; Zhuma, Emilio; Patiño, "Voz IP seguras implementadas en Redes Definidas por Software," vol. 27, p. 125, 2021, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081760>.
- [25] JA. Kumar, Prabhat; Kumar, Randhir; Aljuhani, Ahamed; Jolfaei, "SDN digital impulsado por gemelos para redes inteligentes: una cadena de bloques integrada de aprendizaje

- profundo para la ciberseguridad,” vol. 263, p. 9, 2023, doi: 10.1016/j.solener.2023.111921.
- [26] B. Serantes, “Estudio E Implementación De Tecnologías OVERLAY En Redes Definidas Por Software SDN,” 2023.
- [27] J. Maya, “Ventajas Y Desventajas Del Paradigma De Las Redes Definidas Por Software (SDN).,” *J. Bus. Theory Pract.*, vol. 10, no. 2, p. 6, 2021, [Online]. Available: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/122842>
- [28] C. Cáceres, Johan; Casilimas, “Arquitectura y funcionamiento de redes definidas por software (SDN),” *Repos. Univ. Dist. Fr. José Caldas*, pp.1–15, 2022.
- [29] Daniel Alberto Priano, “Análisis de protocolos de enrutamiento en redes definidas por software (Software Defined Networks),” 2021.
- [30] Figura 4: “Tamaño del mercado de redes definidas por software escalables y análisis de acciones - Informe de investigación de la industria - Tendencias de crecimiento.” [En línea]. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/scalable-software-defined-networking-market>.
- [31] S. Sepulveda, “Migración del monitoreo y gestión de la red tarjeta tuya por medio de redes definidas por software para una red WAN (SDWAN),” p. 53, 2021, [Online]. Available: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/28887>.
- [32] S. Jose, “Tecnología de red definida por software para el aprendizaje en grupos de investigación y educación,” *Rev. Innovación Educ.*, vol. 3, no. 3, p. 96, 2021, doi: <https://doi.org/10.35622/j.rie.2021.03.005>.
- [33] E. Oviedo, Byron; Guzmán, Dayana; Cáceres, Carlos; Huma, “Análisis del desempeño de redes definidas por software frente a redes con arquitectura TCP/IP,” pp.137–151, 2020, [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8590610>.
- [34] E. Mendez, Eyner; Vera, “Mapeo sistemático sobre redes definidas por software con virtualización de las funciones de red,” 2023.
- [35] A. Collantes, Hernández; Prasetya, “SDN: Un enfoque diferente para el diseño y Implementación de Redes Convergentes,” 2023.
- [36] J. Castañeda, “Rendimiento De Una Red Definida Por Software (SDN) Y Una Red Tradicional De Datos En Aplicaciones De Videojuegos En Línea,” 2023.
- [37] B. Toledo, “Prototipo De Red Definida Por Software Usando Protocolo OPENFLOW Para Optimizar La Red Existente En La Carrera De Tecnologías De La Información,” 2023.
- [38] K. T. Huang, Gan; Ullah, Ihsan; Huang, Hanyao; Kim, “Movilidad Predictiva y ubicación de fluo consiente de los costos en redes de IOT basadas en SDN: Un enfoque de Q-learning,” Springer Berlin Heidelberg, 2024.
- [39] S. Sultana et al., “A non-hierarchical technology- and vendor-agnostic SDN controller,” 2022 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), Phoenix, AZ, USA, 2022, pp. 98-100, doi: 10.1109/NFV-SDN56302.2022.9974759.
- [40] Q. Di, C. Ying, F. Yang, Q. Yu and Y. Ren, “A Delay Guarantee Mechanism Based on Active and Passive Measurement in SDN Networks,” in 2023 International Conference on Networking and Network Applications (NaNA), Qingdao, China, 2023 pp. 384-389. doi: 10.1109/NaNA60121.2023.00070.
- [41] A. A. Shah et al., “A Real-time Simulation Framework for Complex and Large-scale Optical Transport Networks based on the SDN Paradigm,” 2020

- IEEE/ACM 24th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT), Prague, Czech Republic, 2020, pp. 1-4, doi:10.1109/DS-RT50469.2020.9213701.
- [42] L. Ma, F. Yang and T. Chen, "A Rapid Configuration Mechanism Based on Load Measurement for NETCONF in SDN Networks," 2023 International Conference on Networking and Network Applications (NaNA), Qingdao, China, 2023, pp. 245-250, doi: 10.1109/NaNA60121.2023.00048.
- [43] A. Blanchet, Raúl; Pérez, Santiago; Cristóba, Facchini; Higinio, "Estudio y simulación de redes definidas por software y automatización de red," Work. Investig. en Ciencias la Comput., pp. 18-23, 2021, [Online]. Available: <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/120006>.
- [44] W. Tong, W. Tian, X. Dong, L. Yang, S. Ma and H. Lu, "B-SDN: A Novel Blockchain-based Software Defined Network Architecture," 2020 International Conference on Networking and Network Applications (NaNA), Hainan City, China, 2020, pp. 206-212, doi: 10.1109/NaNA51271.2020.00043.
- [45] N. Indrason, M. Mawblei, K. Jyndiang and A. K. Thakur, "A survey on the applications of SDN-based IoT Network," 2023 Second International Conference on Informatics (ICI), Noida, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICI60088.2023.10420869.
- [46] A. N. H. D. Sai, B. H. Tilak, N. S. Sanjith, P. Suhas and R. Sanjeetha, "Detection and Mitigation of Low and Slow DDoS attack in an SDN environment," 2022 International Conference on Distributed Computing, VLSI, Electrical Circuits and Robotics (DISCOVER), Shivamogga, India, 2022, pp. 106-111, doi: 10.1109/DISCOVER55800.2022.9974724.
- [47] Y. Li, W. Sun and S. Guan, "A Multi-controller deployment method based on PSO algorithm in SDN environment," 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Chongqing, China, 2020, pp. 351-355, doi: 10.1109/ITNEC48623.2020.9084702.
- [48] M. M. Erbaty and G. Schiele, "Application- and reliability-aware service function chaining to support low-latency applications in an NFV-enabled network," 2021 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), Heraklion, Greece, 2021, pp. 120-123, doi: 10.1109/NFV-SDN53031.2021.9665118.
- [49] M. Anand Kumar, A. Ghanshala, K. C. Purohit, A. Singh and M. Ezhilarasi, "Control Plane TCP Attacks Detection and Prevention in SDN Networks using Deep Learning Model," 2023 10th International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 2023, pp. 373-378.
- [50] S. Yan, Guozhu; Wu, Qiongyu; Chen, Rongbing; Du, Linfeng; Ren, "A Literature Review of Resiliency Technologies in Military Software Defined Networks," 2022 5th Int. Conf. Data Sci. Inf. Technol. DSIT 2022 - Proc., p. 7, 2022, doi: 10.1109/DSIT55514.2022.9943919.
- [51] J. Sevenich, Lopes; Rigolín Eswarappa; Sharath, Retortor; Paulo; Lövenich, "Hacia una QOS adaptiva en redes tacticas heterogeneas habilitadas para SDN," 2023.
- [52] M. Polverini, F. G. Lavacca, J. Galán-Jiménez, D. Aureli, A. Cianfrani and M. Listanti, "Digital Twin Manager: A Novel Framework to Handle Conflicting Network Applications," 2022 IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN), Phoenix, AZ, USA, 2022, pp. 85-88, doi: 10.1109/NFV-SDN56302.2022.9974809.

- [53] Figura5:«¿Qué es SDN? Wiki y resumen de controladores SDN: OpenDaylight, OpenFlow, automatización de redes y más». <https://cloudify.co/blog/what-is-sdn-controllers-software-defined-networking-opensdaylight-openflow-openstack-cloudify-network-automation-orchestration/>.
- 54] Baskakov, A. E., Mironov, Y. B., Bakhtin, A. A., Volkov, A. S., & Gorelik, A. V. (2023, November). Development of Modules for Multiple Paths Finding for Software-Defined Network in MiniNet. In 2023 Seminar on Networks, Circuits and Systems (NCS) (pp. 20-22). IEEE.
- [55] S. P. Chaturvedi, V. Baggan and P. Kumar, "Comparative Analysis of Traditional Virtual-LAN with Hybrid Software Defined Networking Enabled Network," 2020 12th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN), Bhimtal, India, 2020, pp. 141-146, doi: 10.1109/CICN49253.2020.9242631.
- [56] J.A. Zabala, vargas; Jairo, "Efecto sobre la motivación y el rendimiento académico al aplicar aprendizaje basado en juegos en la enseñanza de las redes definidas por software," vol. 15, pp. 81-94, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062022000400081>.
- [57] M. Steven, "Propuesta de implementación de una red SDN por Medio del controlador FLOODLIGHT y MININET para la institución unidad Educativa Americano," 2023.
- [58] P. Navia, Marlon; Alcivar, "Comparativa entre red tradicional y red definida por software: Caso de estudio ESPAM MFL," 2020.
- [59] A. Sanchez, Medina; Bagner, "Diseño de una red de área local basada en la arquitectura de redes definidas por software para reducir el tiempo en las configuraciones de un campus universitario," 2023.
- [60] Bone, M., Rodríguez, J., Sosa, S., Núñez, L. (2021). Aplicaciones de SDN en infraestructura de redes educativas. *Ciencia Digital*, 5(1), 219-231. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i1.1539>.



ARTÍCULO DE
LOS SEMILLEROS
DE INVESTIGACIÓN

PROTOTIPO PARA CLASIFICACIÓN AUTOMATIZADA DE RESIDUOS RECICLABLES Y NO RECICLABLES POR MEDIO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ESCUELA DE COMUNICACIONES MILITARES DE FACATATIVÁ

Andrés Felipe Salcedo
Vernaza
Semillero de investigación
WTE-ESCOM
andressalcedovernaza
@cedoc.edu.co

Karen Viviana Ramos Pinzón
Semillero de investigación
WTE-ESCOM
karenramospinzon
@cedoc.edu.co

Wilson Roberto Sánchez Solano
Semillero de investigación
WTE-ESCOM
wilsonsanchezsolano
@cedoc.edu.co

Resumen

Este artículo aborda la clasificación y gestión ineficiente de residuos en la Escuela de Comunicaciones Militares de Facatativá. Se evidencia una imperante necesidad de optimizar la separación de desechos para fomentar la conciencia y responsabilidad ambiental entre estudiantes, civiles y militares. El proyecto tiene como propósito diseñar un prototipo automatizado capaz de clasificar residuos reciclables y no reciclables. Esto se logrará mediante inteligencia artificial, la cual analizará imágenes de los productos con redes neuronales convolucionales entrenadas en una base de datos específica, permitiendo así una identificación precisa y automática.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, sistemas automatizados, diseños electrónicos, redes neuronales, base de datos, microprocesador.

Abstract

This article addresses the inefficient waste classification and management at the Facatativá Military Communications School. There is an urgent need to optimize waste separation to promote environmental awareness and responsibility among students, civilians, and military personnel. The project aims to design an automated prototype capable of classifying recyclable and non-recyclable waste. This will be achieved through artificial intelligence, which will analyze product images with convolutional neural networks trained on a specific database, thus enabling accurate and automatic identification.

Keywords— Artificial Intelligence, automated systems, electronic designs, neural networks, database, microprocessor.

I. INTRODUCCIÓN

Frente al creciente desafío ambiental que representa el manejo de residuos, y específicamente la necesidad imperante de optimizar el reciclaje para reducir la contaminación y preservar los recursos naturales, resulta decisivo implementar soluciones tecnológicas que promuevan una gestión adecuada y una mayor conciencia sobre el impacto de las acciones humanas en el entorno. Este proyecto busca desarrollar un sistema automatizado para la identificación y clasificación de desechos reciclables y no reciclables, facilitando el proceso de separación y contribuyendo a una gestión de residuos más sostenible.

Mediante visión artificial, el sistema propuesto puede diferenciar entre los diversos materiales que se desechan con más frecuencia en la Escuela de Comunicaciones Militares. Esta herramienta pretende involucrar activamente a los ciudadanos en el manejo adecuado de residuos, mientras reduce la cantidad de desechos mal clasificados.

II. ESTADO DEL ARTE

Los autores [1] desarrollaron un “prototipo automático para el reconocimiento y separación de materiales reciclables en IA” en la Escuela de Comunicaciones Militares de Facatativá, Colombia. Su objetivo fue aumentar la baja tasa de reciclaje en la institución. Diseñaron un prototipo electrónico que emplea aprendizaje automático para reconocer y clasificar materiales

reciclables como manzanas, bananos y envases de Vive 100, descartando líquidos. Esta iniciativa mejoró significativamente las prácticas de reciclaje en la ESCOM.

Con respecto al proyecto anterior, el presente, propone un valor agregado: una red con mayor cobertura. Se busca incluir productos como jugos Hit, botellas de agua Cristal, paquetes de De Todito, vasos de tinto, cáscaras de banano y residuos de manzana. Esto amplía significativamente los productos que el sistema detecta. Esta expansión de la cobertura en IA no solo mejorará la precisión en la identificación de materiales reciclables, sino que también optimizará la operatividad general del prototipo. Este desarrollo promete mejorar sustancialmente el rendimiento y la funcionalidad del sistema, beneficiando tanto al medio ambiente como a la comunidad académica.

Por otra parte, los autores de la investigación “Desarrollo de un contador y clasificador automático de material reciclable en el contexto educativo” [2], realizada en la cafetería de la Universidad de la Amazonía, optimizaron la selección y clasificación de elementos reciclables de forma rápida y segura. Su objetivo fue contribuir a la sostenibilidad medioambiental y al concepto de economía circular en la educación mediante el uso de las TIC.

La implementación de una red neuronal más amplia como valor añadido, busca ir más allá de las botellas de agua e incluir una gama más extensa de materiales reciclables. Esta ampliación de las capacidades de reconocimiento y clasificación, aumenta la versatilidad y eficacia del contenedor y clasificador automático, permitiendo un enfoque integral para abordar los diversos retos asociados a la gestión de residuos en entornos educativos.

En la investigación “Sistema de control automático para el reconocimiento y clasificación de residuos reciclables (plástico, vidrio, papel y metal) para un punto ecológico” [3], realizada por Díaz & Caldas en la Universidad Católica de Colombia, se propuso el desarrollo de un sistema automatizado de clasificación de residuos.

Se utilizaron tecnologías como sensores de capacitancia e imágenes hiperespectrales, lo que aumentó las tasas de reciclaje y redujo los residuos en los vertederos.

Como valor añadido, se propone incorporar un análisis basado en inteligencia artificial para optimizar la distribución e identificación del material reciclable. Al incorporar IA, se añade una capa extra de eficiencia y flexibilidad, permitiendo una respuesta más rápida en la distribución de materiales reciclables, lo que representaría un notable progreso en la gestión de los residuos.

III. PROCEDIMIENTO Ó METODOLOGÍA

A continuación, se detalla la ruta metodológica de esta investigación, enfocada en la clasificación automatizada de residuos reciclables y no reciclables mediante inteligencia artificial en la Escuela de Comunicaciones Militares de Facatativá. Se definirá el paradigma, tipo, enfoque, método y diseño del estudio, entre otros elementos. Este paso a paso permitirá la obtención de datos, el desglose preciso de variables y la planificación de etapas para el cumplimiento del objetivo general.

A. Paradigma de la investigación

El proyecto se centra en el paradigma empírico-analítico, permitiendo comprender el desarrollo de un prototipo mediante métodos estadísticos para analizar datos de forma objetiva y precisa. Como menciona Ronald Fisher [4], al establecer estándares de experimentación científica, los resultados numéricos son base para extraer conclusiones significativas. Esto refleja un enfoque cuantitativo que, además de ofrecer herramientas para comprender fenómenos complejos, permite tomar decisiones informadas basadas en evidencia numérica.

Por lo tanto, esta investigación se realiza mediante un análisis de los residuos más frecuentes en la Escuela de Comunicaciones Militares, según sus características y composición. Esto se logra con componentes electrónicos como cámaras y dispositivos de detección que identifican residuos por tamaño, color, forma y textura. La información recopilada se almacena en una base de

datos para desarrollar una red neuronal convolucional, con el fin de clasificar desechos orgánicos e inorgánicos. Posteriormente, se analizan los resultados para examinar el impacto de las variables independientes del prototipo sobre las dependientes y su comportamiento como residuos clasificados.

B. Tipo de investigación

El estudio emplea una investigación experimental y microetnográfica. El tipo de investigación experimental, permite establecer un entorno controlado para evaluar la eficacia y precisión del sistema desarrollado. Por su parte, el alcance microetnográfico, se basa en la observación y análisis detallados del contexto específico en el que operan los usuarios que gestionan residuos dentro de la institución universitaria.

En la investigación experimental, Fi días Arias [5] subraya la importancia de un diseño experimental cuidadosamente planificado para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados. Él resalta la necesidad de replicar experimentos y usar técnicas de aleatorización para asegurar resultados válidos y fiables, proporcionando un marco metodológico sólido para identificar y comprender relaciones causales en la investigación.

Este tipo de investigación facilita el monitoreo controlado del comportamiento del prototipo en una relación de causa y efecto. Permite controlar las variables independientes y observar cómo afectan a la variable dependiente, evaluando la interacción entre los componentes electrónicos y el algoritmo de clasificación automatizada de residuos orgánicos e inorgánicos mediante inteligencia artificial. El objetivo es analizar los resultados, identificando los ajustes necesarios para optimizar el funcionamiento y mejorar continuamente el rendimiento del sistema.

En relación con la investigación microetnográfica, Spradley [6] se enfoca en la observación e interpretación detallada de un fenómeno dentro de una sola institución o ámbito social. Esto permite al investigador o etnógrafo centrarse en situaciones sociales específicas y limitadas en tiempo y espacio. Este enfoque es ideal para estudios con recursos limitados, ya que

facilita el análisis a menor escala y con mayor precisión, promoviendo la coherencia en la interpretación de datos cualitativos.

La microetnografía es fundamental en este estudio porque permite la observación directa y la recopilación de información para realizar las modificaciones necesarias. Estos cambios se aplicarán directamente al prototipo, buscando maximizar su adaptabilidad a las necesidades específicas del entorno. Al comprender en profundidad la interacción entre los usuarios y el ambiente, se podrán implementar mejoras que optimicen significativamente el proceso de clasificación de residuos.

C. Enfoque de Investigación

El proyecto asumirá un enfoque mixto, permitiendo la integración de variables tanto cuantitativas como cualitativas para una perspectiva de investigación más completa. Hernández Sampieri [7] señala que “la meta de la investigación mixta no es reemplazar la cuantitativa ni la cualitativa, sino combinar las fortalezas de ambas para una visión más robusta y profunda del fenómeno estudiado” (p.564).

Basado en lo anteriormente expuesto, el enfoque cuantitativo contribuirá a la recolección y análisis de datos numéricos sobre los residuos generados. Esto se hará mediante métodos estadísticos, como encuestas para analizar las variables de forma precisa y objetiva, proporcionando evidencia concreta y cuantificable que facilitará la investigación.

El análisis cualitativo complementará la investigación a través de la observación participante, permitiendo registrar comportamientos en el entorno real de la Escuela de Comunicaciones Militares. Además, el análisis de contenido se centrará en identificar patrones clave que los datos numéricos por sí solos no pueden captar. Este enfoque enriquecerá los resultados y brindará una comprensión más profunda de los factores involucrados en el desarrollo del proyecto.

D. Diseño de la Investigación

El proyecto de investigación de Pancca et al. [8] destaca la importancia de la gestión

de residuos en entornos urbanos. Su estudio es cuasiexperimental porque los datos se obtienen de una hipótesis o teoría: se expone, resume y analiza cuidadosamente la información y las variables.

E. Método aplicado en la investigación

El proyecto emplea un método de investigación con enfoque deductivo e inductivo. Los procesos deductivos parten de una teoría existente, formulando una hipótesis que se prueba mediante experimentos controlados. Esto permite la creación de algoritmos y modelos predictivos que se validan con pruebas empíricas, asegurando que el sistema automatizado de clasificación pueda identificar y separar eficientemente los residuos [9].

Por otro lado, la investigación también cuenta con un enfoque inductivo que utiliza técnicas de recolección de datos. A medida que se recopilan más datos, los algoritmos se ajustan para mejorar la precisión del proceso [10]. Así, la investigación inductiva ayuda a comprender mejor los residuos y a crear un sistema de clasificación más eficiente, adaptado a las condiciones reales.

F. Procedimiento

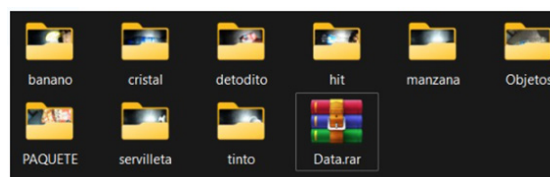
La producción diaria de desechos en la institución educativa resalta la necesidad de implementar tecnologías avanzadas para la gestión de residuos, promoviendo prácticas más sostenibles. Por ello, este proyecto busca integrar soluciones en una estructura electrónica que automatice el proceso.

En primera instancia, se dará inicio con el análisis y comprensión de la composición y naturaleza de los residuos generados por la comunidad de la ESCOM (estudiantes y profesores), para determinar qué tipos de desechos predominaban. Identificar estos residuos es importante para definir las categorías específicas necesarias y diseñar un sistema automatizado de clasificación eficiente.

En segundo lugar, es necesario crear un conjunto de datos robusto y detallado para entrenar los modelos de clasificación de residuos. Para lograrlo, es importante recopilar una cantidad significativa de imá-

genes de cada residuo previamente identificado. Este dataset debe ser lo más robusto posible, debido a que los modelos de aprendizaje automático requieren una amplia y diversa base de ejemplos visuales para clasificar los desechos de manera precisa y eficaz. Con el fin de asegurar que los modelos tuvieran suficientes datos representativos, se decidió capturar 100 fotos por cada tipo de producto, para un total de 700 fotos.

Fig. 1 Carpetas con las imágenes



La selección de esta cantidad de imágenes se debió a la necesidad de cubrir la diversidad visual de los residuos bajo distintas condiciones. Esto incluye cambios de iluminación –en un entorno controlado para minimizar interferencias– y variedad de ángulos o estados físicos de los desechos (por ejemplo, parcialmente dañados o desgastados). Esta diversidad fue clave para que el modelo aprendiera a reconocer los residuos con precisión, sin importar el contexto.

Como criterio para el logro del mencionado reconocimiento, las 100 fotografías de cada producto deben tomarse con iluminación óptima para asegurar imágenes claras, evitando sombras excesivas que dificulten la identificación. Dado que la arquitectura de inteligencia artificial elegida, prioriza la calidad sobre la cantidad, se decidió limitar el conjunto a 100 imágenes por objeto.

Cada imagen debe capturarse con una resolución de 640x640 px, requisito fundamental para el formato YOLOv [11]. Además, es esencial tomar los productos desde distintos ángulos y distancias para obtener un conjunto de datos variado, permitiendo que el modelo de reconocimiento generalice mejor en situaciones reales.

En la figura 2, se observa que el etiquetado genera cuatro coordenadas que representan los límites exactos del objeto identificado en la imagen. Estas coordenadas

corresponden a la posición de la caja delimitadora que encierra el área de interés, definiendo el espacio donde se encuentra el objeto relevante para el modelo.

Fig. 2 Etiquetado de la imagen



Durante el entrenamiento de la red neuronal, estas coordenadas son fundamentales, pues le permiten enfocar su análisis únicamente en el área delimitada, ignorando partes irrelevantes de la imagen. Este proceso ayuda al modelo a concentrarse en las características visuales específicas de cada objeto, como forma, color, tamaño y otros detalles distintivos de los residuos. Estas características visuales son imprescindibles para que la red diferencie correctamente entre las distintas categorías de desechos y realice una clasificación precisa.

Una vez elaborado el Dataset, es necesario implementar diferentes modelos de clasificación utilizando YOLOv11, una de las arquitecturas más avanzadas para la detección de objetos. Esta herramienta se seleccionó por su capacidad para realizar detecciones rápidas y precisas, algo fundamental para un sistema que operará en tiempo real y en entornos dinámicos.

A diferencia de Haar Cascade, que se enfoca en el reconocimiento de rostros y patrones en blanco y negro con clasificación en cascada, y TensorFlow, que aunque permite desarrollar y entrenar redes neuronales profundas para detección de objetos, su procesamiento es extenso,

haciéndolo menos eficaz y rápido que YOLOv8. A continuación, la Tabla 1 presenta las especificaciones de cada herramienta, para entender mejor por qué YOLOv11 es la mejor opción para el entrenamiento de la inteligencia artificial.

Tabla I Comparación de los modelos para-IA

Método	Tipo	Precisión de detección	Requerimiento de Hardware	Escenarios ideales
Haar Cascade	Método clásico (no basado en deep learning)	Baja a media	Bajo	Detección de patrones simples como rostros
Yolov11	Modelo de detección de objetos	Alta	Medio a alto (ideal con GPU)	Detección de objetos en tiempo real
TensorFlow	Framework de deep learning	Varía según el modelo	Varía según el modelo	Desarrollo de cualquier tipo de modelo AI

Una vez identificado el tipo de modelo para entrenar la inteligencia artificial con el Dataset previamente elaborado, es importante comprender el funcionamiento de los modelos de YOLOv11. La Tabla 2 detalla estos modelos, mostrando su peso, profundidad múltiple y ratio de eficacia.

Tabla II Rendimiento de los modelos de YOLO

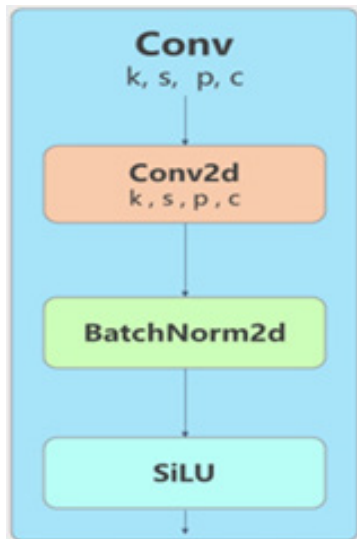
Modelos	D(depth_multiple)	W(width_multiple)	R(ratio)
N	0.33	0.25	2.0
S	0.33	0.50	2.0
M	0.67	0.75	1.5
L	1.00	1.00	1.0
X	1.00	1.25	1.0

Los modelos se categorizan por el tamaño de sus pesos, donde “n” es el más pequeño y “x” el más grande. Cuanto mayor sea el modelo, mayor será la eficacia del entrenamiento y reconocimiento de objetos en la inteligencia artificial,

aunque su procesamiento demandará más recursos de RAM del equipo. Para este caso, el entrenamiento se diseñó con el modelo nano (n), ya que demostró ser suficiente para procesar las imágenes de los residuos con facilidad.

Una vez definido el modelo que procesará el entrenamiento de la inteligencia artificial, se debe realizar un proceso de capas a través de redes convolucionales. Estas redes se encargarán de analizar por bloques cada píxel de la imagen suministrada. Dichas redes convolucionales cuentan con tres filtros, donde participen cuatro variables importantes: k, s, p y c, como se puede observar en la Figura 3.

Fig. 3 Kernels

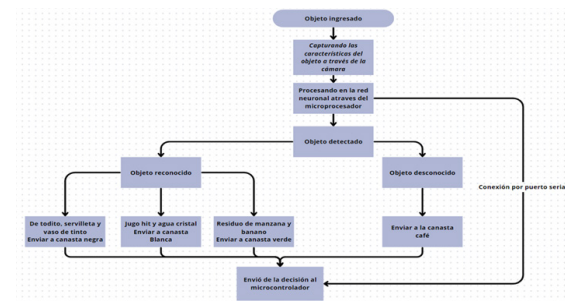


Luego, se representa una operación de convolución bidimensional, donde “k” es el tamaño del kernel o filtro, una pequeña matriz que se desliza sobre la imagen de entrada. Se continúa con “s”, la cual es el stride o paso, que determina cuántos píxeles desplaza el kernel en cada movimiento. Seguidamente, “p”, que es el padding, o proceso de agregar píxeles adicionales alrededor de la imagen, antes de aplicar la convolución. Finalmente, “c” es la cantidad de kernels aplicados en una capa convolucional, todo con el objetivo de controlar la red neuronal mientras extrae y procesa la información visual de una imagen [12].

En este sentido, con el fin de diseñar

e implementar la inteligencia artificial en el modelo YOLOv11 para la clasificación de residuos, es fundamental comprender y definir primero su proceso inicial. Para ello, se propone la creación de un diagrama de flujo que ilustre la secuencia completa de clasificación antes de proceder a las pruebas en entornos reales. A continuación, la Figura 4 presenta el diagrama de flujo detallado del proceso de detección y categorización de residuos.

Fig. 4 Diagrama de proceso de identificación



Una vez comprendido el proceso de la IA, se iniciaron las pruebas en entornos reales. Se conectó la cámara al microprocesador (específicamente, la CPU Lenovo Workstation), que procesará la IA y evaluará los datos necesarios para la clasificación del residuo. Posteriormente, esta enviará la información por puerto serial al microcontrolador.

A continuación, la Tabla 3 presenta el reconocimiento de 3 residuos previamente establecidos, detectados y categorizados por la IA en un entorno real y controlado.

Tabla III Toma de datos de los residuos

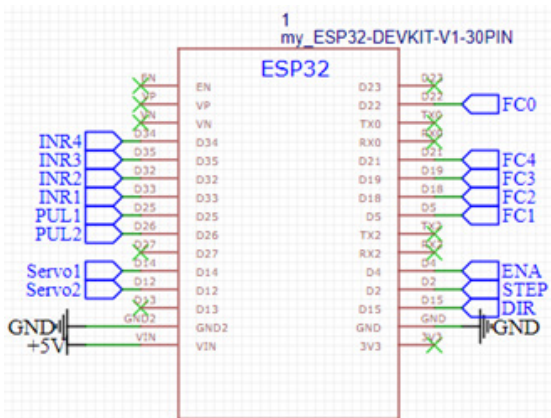
Reconocimiento del objeto	Identificación del proceso	Descripción
		Toma de datos y detección de botella de agua cristal
		Toma de datos y detección de paquete De todoitito
		Toma de datos y detección de vaso plástico

Gracias al procesamiento de la CPU Workstation, la implementación de la inteligencia artificial permitió analizar e identificar los diferentes tipos de residuos según su material y características. Esto permitió su depósito en la caneca correspondiente, cumpliendo así el objetivo de un funcionamiento basado en algoritmos de aprendizaje para el modelo de clasificación.

Una vez finalizado el entrenamiento de la IA, fue necesario crear un diseño electrónico. Para ello, se seleccionó el software adecuado, lo que permitió trabajar de manera eficiente, reducir el riesgo de errores en la fabricación de la PCB y asegurar la calidad general del proyecto.

Para iniciar el diseño de la placa PCB, es esencial tener las referencias de todos los componentes que se usarán en el prototipo. Para su desarrollo, optamos por un microcontrolador ESP32, el cual gestionará el control electrónico. El ESP32 cuenta con una arquitectura de procesamiento dual-core: un núcleo dedicado a los datos de sensores y actuadores, y otro para la comunicación en tiempo real. La conexión entre el ESP32 y los demás módulos se establecerá mediante el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface), utilizando las líneas MOSI para envío, MISO para recepción, SCK para sincronización y GND como referencia de tierra, lo que asegura un flujo de datos confiable y coordinado.

Fig. 5 Conexiones ESP32

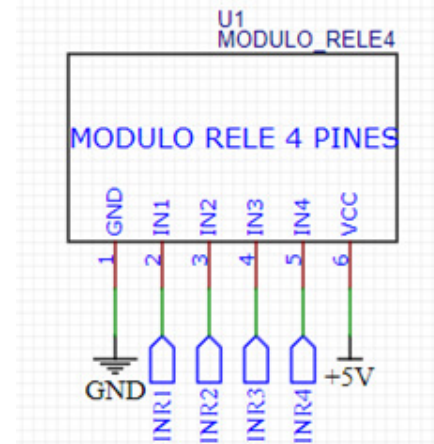


En el diseño de este prototipo, la ESP32 controlará un sistema compuesto por varios componentes clave:

Un módulo relé de 4 pines: El ESP32

activará y desactivará el relé mediante una de sus salidas GPIO, controlando así tres luces LED que servirán como indicadores en el prototipo. La luz verde indicará el inicio del proceso de clasificación, la luz azul señalará la finalización de la clasificación, y la luz roja alertará sobre cualquier falla en el reconocimiento y clasificación del producto.

Fig. 6 Conexiones Modulo Relé

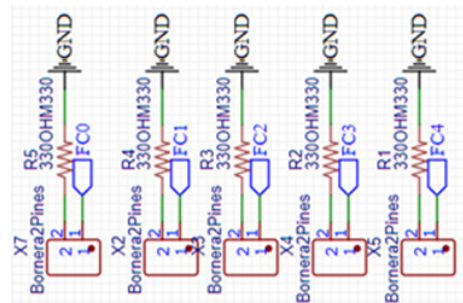


La Figura 6 muestra la conexión del relé con el microcontrolador, donde:

- INR1 – D33
- INR2 – D32
- INR3 – D35
- INR4 – D34
- GND – GND COMÚN
- VCC – 5V

Finales de carrera: Estos sensores se conectarán a pines de entrada digital del ESP32 para detectar posiciones límite en el movimiento. Cuando el residuo a clasificar alcance su posición final, el ESP32 recibirá la señal del final de carrera y detendrá el estado del sistema según sea necesario.

Fig. 7 Conexiones finales de carrera

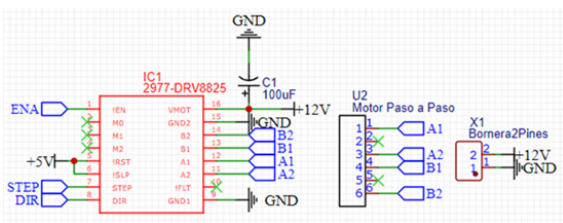


En la Figura 7, los finales de carrera se representan mediante borneras que simulan el componente. Cada final de carrera, compuesto por dos pines, se conecta de la siguiente manera:

- El pin COM del final de carrera se conecta a GND en la ESP32, junto con una resistencia pull-up externa. Esto asegura que el estado del pin GPIO esté definido cuando el final de carrera no está activado, evitando lecturas erróneas.
- El pin NO del final de carrera, se conecta a un pin GPIO específico del ESP32:
 - o FC0 – D22
 - o FC1 – D5
 - o FC2 – D18
 - o FC3 – D19
 - o FC4 – D21

El driver de motor DRV8825 será alimentado a 12V y controlado por el ESP32, para manejar el motor paso a paso LM 17 NEMA. Para ello, se utilizarán las señales de paso (step) y dirección (dir). El ESP32 ajusta la velocidad y dirección del motor mediante estos pines, lo que permite movimientos precisos.

Fig. 8 Conexiones del driver del motor



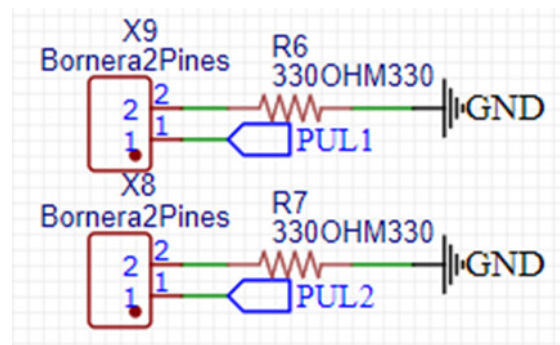
En la Figura 8 se evidencia las conexiones del componente DRV8825 y LM 17 NEMA:

- VMOT y GND: van conectados a 12V y un capacitor electrónico de 100uF, con el objetivo de filtrar ruidos eléctricos y estabilizar el voltaje suministrado mejorando el rendimiento del sistema.
- 2B, 2A, 1A, 1B: conexiones para las bobinas del motor paso a paso.

- DIR – D15
- STEP- D2
- ENA- D1

Botón de reset y botón de stop: ambos botones están conectados a pines de entrada digital del ESP32. El botón de reset permitirá reiniciar el sistema, mientras que el botón de stop detendrá inmediatamente cualquier operación en curso, brindando un mecanismo de seguridad manual como lo muestra la Figura 9.

Fig. 9. Botón de reset y de stop

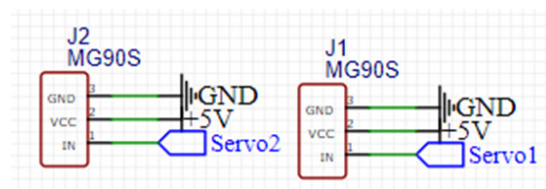


Servo Motor: el servomotor se controla mediante señales PWM, por medio de la SP32 que permite ajustar el ángulo de rotación con el objetivo de controlar la caída del objeto al momento de ser reconocido y clasificado:

Posición cerrada: La compuerta se mantiene cerrada y sostiene el objeto.

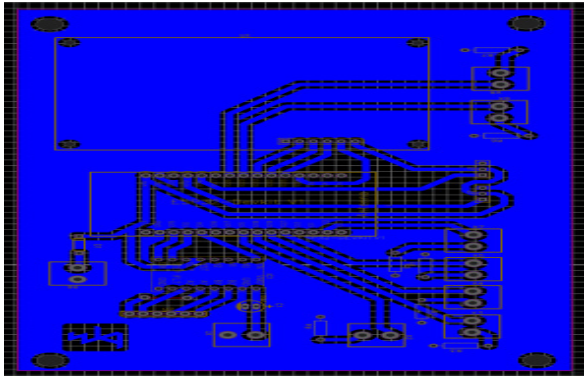
Posición abierta: El servomotor gira la compuerta, permitiendo que el objeto caiga.

Fig. 10 Conexiones servomotores



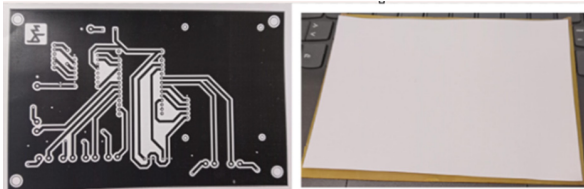
Tras conectar los componentes, se procede a diseñar la placa PCB, creando las pistas para el posterior quemado y ensamble.

Fig. 11 Impresión para la placa



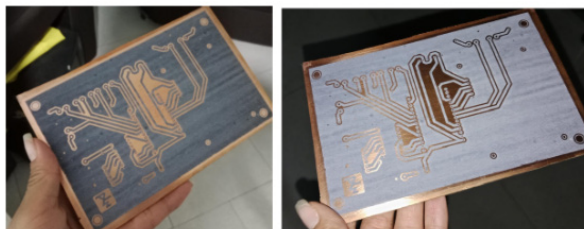
Es imprescindible descargar el archivo de impresión en modo espejo y en papel fotográfico. Así, al plancharlo sobre la baquela, la impresión quedará correctamente organizada.

Fig. 12 Placa impresa en papel fotográfico



Una vez planchado, se verifica que las conexiones y la placa estén bien adheridas a la baquela.

Fig. 13 Planchado



Después de realizar los pasos anteriormente mencionados una vez lista la placa, se limpia y se procede a soldar los componentes.

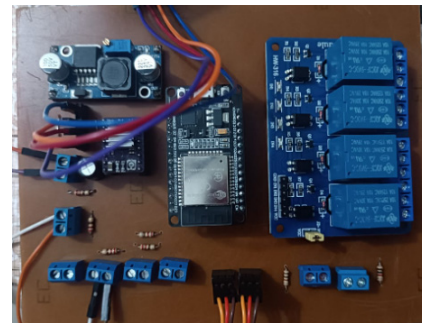
Se soldan los componentes de la PCB, para hacer las pruebas de funcionamiento del circuito y la conexión serial de la ESP32, con la WorkStation.

Fig. 14 Placa



Se soldan los componentes de la PCB, para hacer las pruebas de funcionamiento del circuito y la conexión serial de la ESP32, con la WorkStation.

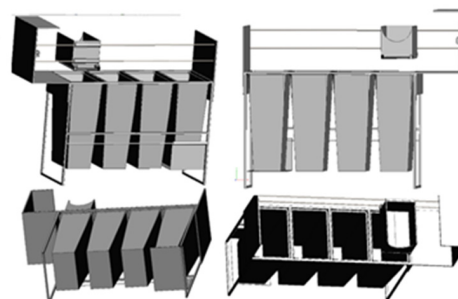
Fig. 15 Componentes soldados



Diseño de la estructura y construcción

Para realizar el montaje de la estructura, se realizó un boceto simulado en un software del diseño esperado de la estructura, con un entorno real y las medidas adecuadas de cada caneca, como se evidencia en la Figura 16.

Fig. 16 Boceto de la estructura



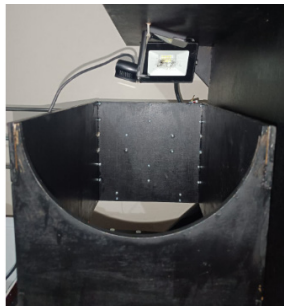
Para la creación de la estructura, se cortaron las piezas de soldadura con las medidas adecuadas y establecidas para este diseño. Luego, se procedió a fabricar los soportes para cada una de las canecas y pintar la estructura.

Fig. 17 Proceso del soldado de la estructura



Una vez hechos los cortes, se ensambla la caja a la estructura principal.

Fig. 18 Caja y carpetas con las imágenes



En la parte trasera, el prototipo contará con cuatro soportes fabricados en impresora 3D. Dos de ellos se usarán para las varillas lisas, que brindarán estabilidad al movimiento y evitarán cualquier desequilibrio. Otro soporte será para la varilla roscada, la cual, al estar ensamblada al motor y a unas tuercas, generará el movimiento de la caja hacia las canecas correspondientes. Finalmente, el último soporte será para los servomotores MG90S, encargados de abrir y cerrar las compuertas.

Con ayuda de una impresora 3D, se realizó el soporte y acople del motor nema 17, con el propósito de ajustarlo al prototipo y ensamblar la varilla roscada.

Fig. 19 Accesorios de desplazamiento

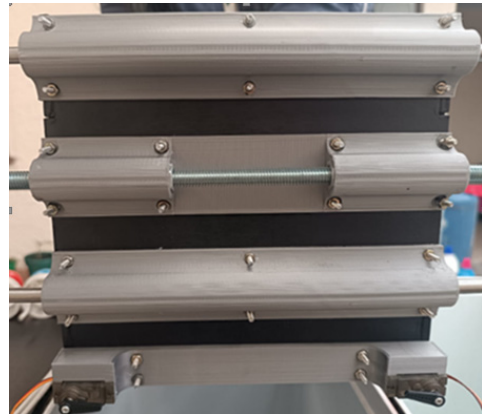
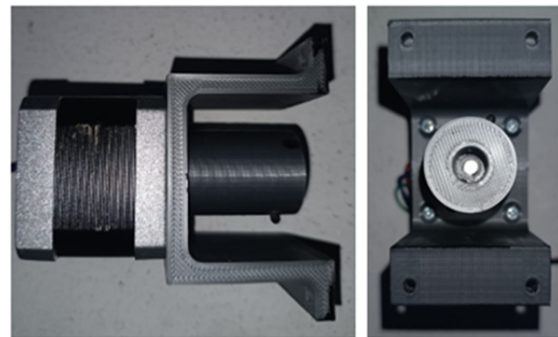


Fig. 20 Accesorios para el motor



Luego, se ensamblaron las varillas a la estructura principal con la caja.

Fig. 21 Elaboración de la estructura



Una vez finalizada la estructura interna, el siguiente paso fue cubrirla completamente. Esto se hizo con el objetivo de proteger la caja y mantenerla en oscuridad, lo cual es vital para que la luz ambiental no afecte la detección del residuo.

Fig. 22 Elaboración de la maqueta



Fig. 23 Complementación de la estructura



Posteriormente, se recubrió por completo y se decoró con sus respectivas características del reciclaje.

Fig. 24 Estructura completada



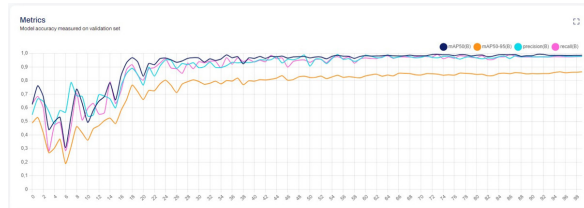
Luego, se ajustó la PCB y se hicieron as respectivas conexiones.

Finalmente, se organizaron las conexiones y se ajustaron todos los componentes para la sesión de pruebas. Con esto, se cumplió el cuarto objetivo del proyecto, que consistía en diseñar y elaborar la estructura con sus componentes electrónicos ensamblados, obteniendo así la parte automatizada del sistema.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La investigación reveló que el sistema clasifica eficientemente los residuos de la Escuela de Comunicaciones Militares con alta precisión. Se identificaron los desechos más comunes: botellas de plástico, empaques de comida y vasos de tinta. Esto confirma la efectividad del diseño del dataset y el entrenamiento de la inteligencia artificial para cumplir los objetivos.

Fig. 25 Curva de aprendizaje



La gráfica presentada en la Figura 25, presenta la curva de aprendizaje, que ilustra el rendimiento del modelo durante el entrenamiento. En ella, se destacan cuatro variables clave: mAP50, mAP50-95, precisión y recall. El mAP50, indica la precisión promedio para cada clase en el conjunto de datos. La precisión mide la proporción de predicciones correctas sobre el total, mientras que el recall evalúa la capacidad del modelo para detectar todos los objetos relevantes. Estas variables resaltan la detección y clasificación de residuos del sistema.

Para el entrenamiento, se priorizaron residuos predominantes como botellas de agua y empaques, los más frecuentes en el lugar, y que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla IV. Productos a clasificar

BOTELLA DE JUGO 	BOTELLA DE JUGO 	VASO PLASTICO 
PAQUETE DE PAPAS 	SERVILLETAS 	PAQUETE DE PAPAS 

Se recopilaron 700 imágenes con diversas condiciones de iluminación y ángulos para entrenar el modelo de IA. Esto aseguró la eficacia de la red neuronal en distintos entornos, obteniendo la curva de aprendizaje mostrada inicialmente.

Además, a pesar de las variaciones en la iluminación y ángulo de los residuos, el sistema mantuvo una precisión satisfactoria, haciéndolo viable para entornos dinámicos como comedores y puntos de reciclaje, dado que su ambiente controlado minimiza la influencia de la variabilidad externa.

Durante las pruebas operativas, se detectó que el sistema identificaba con mayor precisión residuos con características físicas definidas, como botellas de plástico y empaques de alimentos, en contraste con aquellos de texturas irregulares o signos de deterioro (ej. restos orgánicos). Estos resultados resaltan la necesidad de ampliar y diversificar el dataset para asegurar un rendimiento homogéneo en escenarios más complejos.

Fig. 26 Funcionamiento de la estructura



El análisis de eficiencia operativa demostró que el sistema no solo reduce significativamente el tiempo de clasificación de residuos, sino que también disminuye la tasa de errores humanos asociada a métodos manuales. Cabe aclarar que este tiempo podría reducirse aún más si se optimiza la parte mecánica para mayor eficiencia.

Fig. 27 Pruebas de funcionamiento del proyecto



El sistema procesó residuos en tiempo real, manteniendo una tasa de clasificación del 90% incluso con iluminación variable. Este desempeño sugiere que la integración del prototipo en entornos educativos o industriales no solo es factible, sino también escalable. Esto abre la posibilidad de implementar mejoras tecnológicas, como sistemas de detección multisensorial, para clasificaciones más complejas.

V. CONCLUSIONES

El prototipo clasifica y gestiona residuos eficientemente en la Escuela de Comunicaciones Militares de Facatativá, identificando y categorizando los desechos automáticamente. Los resultados confirman la hipótesis inicial y cumplen el objetivo de aplicar entrenamientos de inteligencia artificial para detectar y clasificar residuos reciclables y no reciclables generados en esta institución.

- La recolección de información sobre los residuos fue imprescindible, ya que permitió identificar y analizar los desechos más comunes en la institución. Se observó también que, aunque algunos residuos no son eliminados con frecuencia, deben considerarse para futuras mejoras del sistema.
- El Dataset fue la herramienta central para el entrenamiento de la inteligencia artificial. Sin embargo, su calidad y forma de recolección influyeron directamente en la eficacia de la IA. Al optar por un Dataset creado en un ambiente controlado, se aseguraron los resultados esperados.
- Los resultados obtenidos validaron los objetivos iniciales, confirmando la efectividad de un entrenamiento bien estructurado y diseñado en los modelos de YOLOV11. No obstante, se identificó que el microprocesador requiere una memoria RAM elevada para que la inteligencia artificial funcione eficazmente. La Raspberry Pi 4, por su parte, demostró un rendimiento insuficiente para procesar y detectar los residuos.

- La recolección de información sobre los residuos fue imprescindible, ya que permitió identificar y analizar los desechos más comunes en la institución. Se observó también que, aunque algunos residuos no son eliminados con frecuencia, deben considerarse para futuras mejoras del sistema.
 - El Dataset fue la herramienta central para el entrenamiento de la inteligencia artificial. Sin embargo, su calidad y forma de recolección influyeron directamente en la eficacia de la IA. Al optar por un Dataset creado en un ambiente controlado, se aseguraron los resultados esperados.
 - Los resultados obtenidos validaron los objetivos iniciales, confirmando la efectividad de un entrenamiento bien estructurado y diseñado en los modelos de YOLOv11. No obstante, se identificó que el microprocesador requiere una memoria RAM elevada para que la inteligencia artificial funcione eficazmente. La Raspberry Pi 4, por su parte, demostró un rendimiento insuficiente para procesar y detectar los residuos.
 - Finalmente, se determinó que el tiempo de clasificación (desde la posición inicial hasta la final) depende directamente de la corriente suministrada al motor. Aunque la varilla roscada cumplió su función de desplazamiento, la cantidad de hilos que posee ralentizó este proceso, aumentando el tiempo total de clasificación. Esto sugiere que, si bien el objetivo principal se logró, el sistema está abierto a mejoras y nuevas perspectivas para futuras investigaciones.
- [3] C. Fabian, D. Colorado, J. Armando, y C. Vega, "Sistema De Control Automático Para El Reconocimiento Y Clasificación De Residuos Reciclables (Plástico, Vidrio, Papel Y Metal) Para Un Punto Ecológico", 2018. Consultado: el 27 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/648ff4e5-30ba-44b6-ad2a-a4ab-78f9ff55/content>
- [4] Canal, S. Y. (2000). La estadística una ciencia del siglo XX. RA Fisher: El Genio. Revista Colombiana de Estadística, 23(2), 1-14.
- [5] Arias, F. G. (2012). El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica. 6ta. Fidas G. Arias Odón.
- [6] Kaplan, R. S., Norton, D. P., & Santapau, A. (1997). El cuadro de mando integral.
- [7] Becerril-Santos, A., & Leo-Amador, G. E. (2014). Paradigmas en la investigación. Enfoque cuantitativo y cualitativo. European Scientific Journal, 10(15).
- [8] Turpo Pancca, C., & Mamani Alanoca, R. M. Modelo de simulación para el manejo de residuos sólidos utilizando la metodología de sistemas blandos en el Distrito de Puno enero-abril 2016.
- [9] "Creswell, J. W. (2014). Research Design Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches (4th ed.). Thousand Oaks, CA Sage. - References - Scientific Research Publishing." <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=1964849>

VI. REFERENCIAS

- [1] J. Cancelado y Y. Castañeda, "Prototipo Automático Para El Reconocimiento Y Separación De Materiales Reciclables En Ia", Facatativá, 2019.
- [2] E. Y. Salinas Osuna, J. D. Anaconda Ortiz, O. F. Patiño Perdomo, y E. E. Millán Rojas, "Desarrollo de un contenedor y clasificador automático de material reciclable como estrategia de economía circular en el contexto educativo", Ingeniería y Desarrollo, vol. 39, núm. 01, pp. 156-174, abr. 2023, doi: 10.14482/inde.39.1.006.38.
- [10] "Muijs, D. (2010) Doing Quantitative Research in Education with SPSS. 2nd Edition, SAGE Publications, London. - References - Scientific Research

Publishing.” <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2572150>

[11] “YOLOV8: State-of-the-Art Computer Vision Model.” <https://yolov8.com/>

[12] Ultralytics, “YOLO11 NEW,” Nov. 07, 2024. <https://docs.ultralytics.com/es/models/yolo11/#overview>