

Validación de una Plataforma Robótica 6WD/6WS e IoT a Escala Real: Solución Tecnológica para la Eficiencia de la Pequeña Agricultura en Arequipa

Eber Huanca Cayo^a, Josue Manuel Pareja Contreras^a, Joaquín Sebastian Mitta Velázquez^a

FILIACIONES

a. Facultad de Ingeniería, Computación y Arquitectura. Universidad Católica San Pablo. Campus San Lázaro - Quinta Vivanco S/N Urb. Campiña Paisajista Arequipa, Perú.

CORREOS DE AUTORES

ehuanca@ucsp.edu.pe
jmpareja@ucsp.edu.pe
joaquin.mitta@ucsp.edu.pe

CONTENIDO

1. Introducción

En el contexto de la agricultura peruana, específicamente en la región de Arequipa, predomina el cultivo en parcelas de pequeña escala y terrenos de topografía irregular. En estos entornos, la maquinaria agrícola tradicional resulta ineficaz debido a su limitada maniobrabilidad y elevado peso, lo que genera una dependencia del trabajo manual intensivo. Frente a esta problemática, se han identificado tecnologías clave en robots de campo que buscan revertir esta situación [1]. Esta investigación presenta el desarrollo y validación de un robot móvil de seis ruedas con tracción y dirección independientes (6WD/6WS) diseñado para cerrar la brecha tecnológica en la pequeña agricultura, aprovechando los recientes avances en beneficios y desafíos de la robótica agrícola [3]. El objetivo central de esta propuesta es validar una solución robótica capaz de realizar labores de transporte, surcado y siembra con alta precisión, integrando telemetría IoT para el monitoreo en tiempo real, siguiendo modelos exitosos de robots de siembra basados en Internet de las Cosas [2]. A través de un diseño basado en la configuración *swerve-drive* y un modelado cinemático avanzado [4], se busca no solo mejorar la productividad de cultivos estratégicos como el ajo blanco, sino también sentar las bases para una mecanización sostenible que se adapte a las necesidades reales del productor local.

2. Materiales y Métodos

Arquitectura Mecánica y Modelado: Configuración 6WD/6WS: Implementación de seis módulos *swerve-drive* independientes que otorgan movilidad omnidireccional (giro sobre eje propio, desplazamiento lateral y dirección Ackermann).

Capacidad de Carga: Estructura validada mediante Análisis de Elementos Finitos (FEA) para soportar un payload de 100 kg con un factor de seguridad superior a 3.0.

Suspensión Articulada: Diseño especializado para mantener la tracción constante en terrenos no estructurados y suelos irregulares de Arequipa.

Sistema de Control y Conectividad: Hardware de Control: Uso de microcontroladores de alto rendimiento (familia ESP32) para la gestión coordinada de los doce actuadores (6 de tracción, 6 de dirección).

Ecosistema IoT: Protocolos de comunicación inalámbrica para telemetría, permitiendo la supervisión remota de parámetros operativos y la gestión de datos de siembra.

Algoritmos Cinemáticos: Modelado matemático formal para el control del Centro Instantáneo de Rotación (ICR), optimizando la precisión en las maniobras de campo.

3. Resultados

Las pruebas de validación a escala real arrojaron resultados consistentes con los objetivos de eficiencia y maniobrabilidad establecidos:

Resistencia Estructural: El prototipo operó satisfactoriamente bajo carga completa (100 kg). El análisis de elementos finitos (FEA) validó un factor de seguridad superior a 3.0, demostrando que los módulos de tracción soportan los esfuerzos mecánicos en diversas texturas de suelo agrícola sin deformaciones críticas (Ver Figuras 1 y 2).

Monitoreo Remoto: La interfaz IoT permitió visualizar en tiempo real el estado de la plataforma. La arquitectura de control basada en ESP32 garantizó una respuesta inmediata en la coordinación de los 12 actuadores, facilitando la intervención rápida y el ajuste de parámetros operativos de forma inalámbrica (Ver Figura 3).

Desempeño en Campo: La plataforma demostró una capacidad superior para navegar en parcelas confinadas. Se validaron con éxito los modos de dirección Omnidireccional, Crab y Doble Ackermann, permitiendo cambios de dirección con radio de giro cero, lo que optimiza el uso del área de cultivo al eliminar la necesidad de amplias zonas de maniobra (Ver Figura 4).

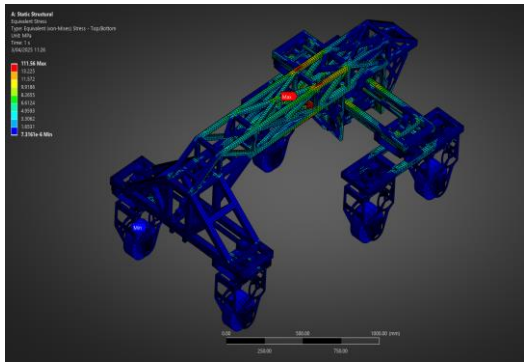


Figura 1: Análisis de elementos finitos



Figura 2: Prototipo de escala real

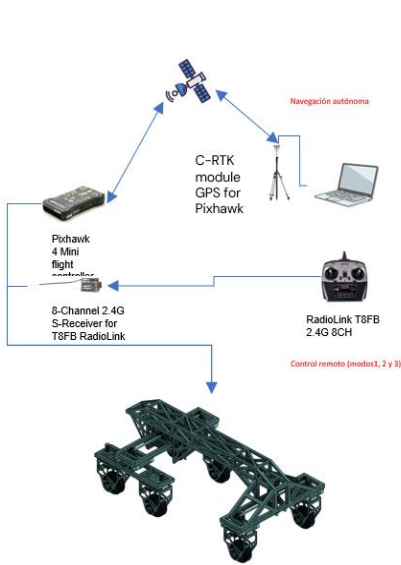


Figura 3: Topología de comunicaciones

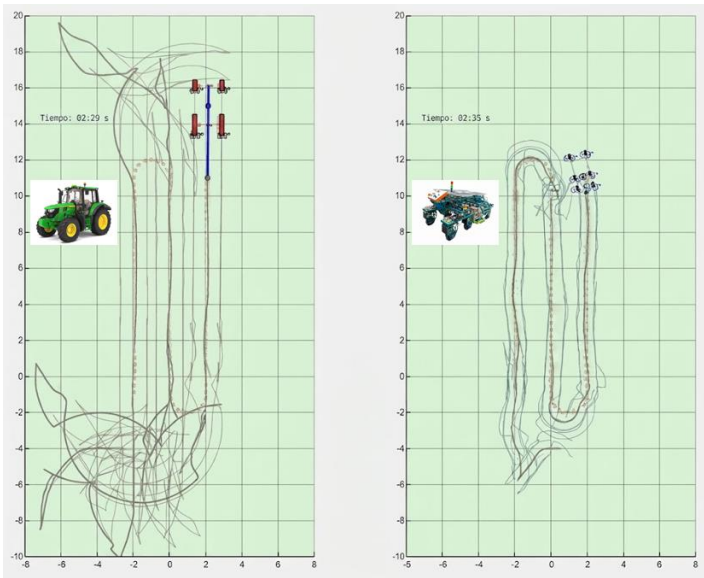


Figura 4: Comparativo de desempeño de movilidad

4. Conclusiones

Se ha validado con éxito que una plataforma robótica 6WD/6WS a escala real es técnica y operativamente viable para la pequeña agricultura en Arequipa. La versatilidad del diseño cinemático resuelve los problemas de maniobrabilidad inherentes a la maquinaria tradicional en parcelas irregulares. La integración de tecnologías IoT representa un avance significativo hacia la democratización de la agricultura de precisión en Perú. Se concluye que esta solución tecnológica no solo incrementa la eficiencia de los procesos de siembra y transporte, sino que reduce la penosidad del trabajo manual y minimiza la degradación del suelo.

Este proyecto, financiado por **PROCIENCIA** bajo el **Contrato N° PE501083474-2023**, constituye un referente para la futura escalabilidad de sistemas autónomos en el sector agrícola nacional.

REFERENCIAS

[1] Liu, L. et al. A review of the current status and common key technologies for agricultural field robots. Computers and Electronics in Agriculture, 109630 (2024).
[2] Manikandan, P. et al. Seeds sowing robot in agriculture using IoT. AIMLA Theme: Healthcare and Internet of Things, 1-5 (2025).
[3] Cheng, C. et al. Recent advancements in agriculture robots: Benefits and challenges. Machines, 48 (2023).
[4] Mitta, J. S. et al. IoT-Enabled Design and Kinematic Modeling of an Articulated 6WD/6WS Swerve-Drive Robotic Platform for Smart Agriculture. Peru - ICECST, 1-8 (2025).

PALABRAS CLAVES	Robótica agrícola	6WD/6WS	Movilidad omnidireccional	Internet de las Cosas (IoT)
-----------------	-------------------	---------	---------------------------	-----------------------------