

Desarrollo de robot híbrido móvil-manipulador asistido por visión artificial con marcadores ArUco

Flores Montes Alejandro (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)¹, Hernández Alonso José Pablo (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)^{1,*}, Santos Quevedo Sebastián (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)¹, Topcic Martínez Dirk Anton (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)¹, Villanueva Jiménez Samuel (décimo semestre en Ingeniería Mecatrónica)¹ y Ochoa García Oliver (profesor responsable)¹.

¹ Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

Introducción

La convergencia entre robótica móvil y manipulación articulada habilita la automatización de tareas complejas al combinar desplazamiento autónomo y destreza fina; esta sinergia ya impulsa procesos industriales de recolección y servicios de asistencia donde la precisión y la adaptabilidad son críticas.

En este trabajo se presenta un robot híbrido: plataforma diferencial de tres ruedas con un brazo de 3 GDL, guiado por visión ArUco. Su diseño fusiona navegación y manipulación en un único marco de coordenadas, desplazándose al objetivo y ejecutando pick-and-place con fiabilidad. El modelo cinemático y dinámico—formulado con Denavit-Hartenberg, Jacobianos y Lagrange—guió el diseño CAD en SolidWorks y la síntesis de engranajes 3 D. Los resultados validan trayectorias suaves y precisas, demostrando un control adaptativo capaz de transportar objetos a posiciones objetivo [1-3].



Fig. 1. Render de manipulador.

Resultados y discusión

El modelo cinemático, basado en una cadena revoluta alineada y parametrizado con Denavit-Hartenberg, se validó numérica y experimentalmente: el algoritmo en Python, alimentado por la pose de marcadores ArUco, genera trayectorias directas e inversas que el ESP32 ejecuta vía Bluetooth con motores paso a paso..

El prototipo físico respeta el CAD de SolidWorks; todos los eslabones y engranajes PLA se imprimieron en 3 D. La reducción mecánica 3 : 1 elevó la resolución angular de 1,8° a 0,6°, eliminando pérdidas de paso y mejorando la suavidad del movimiento.

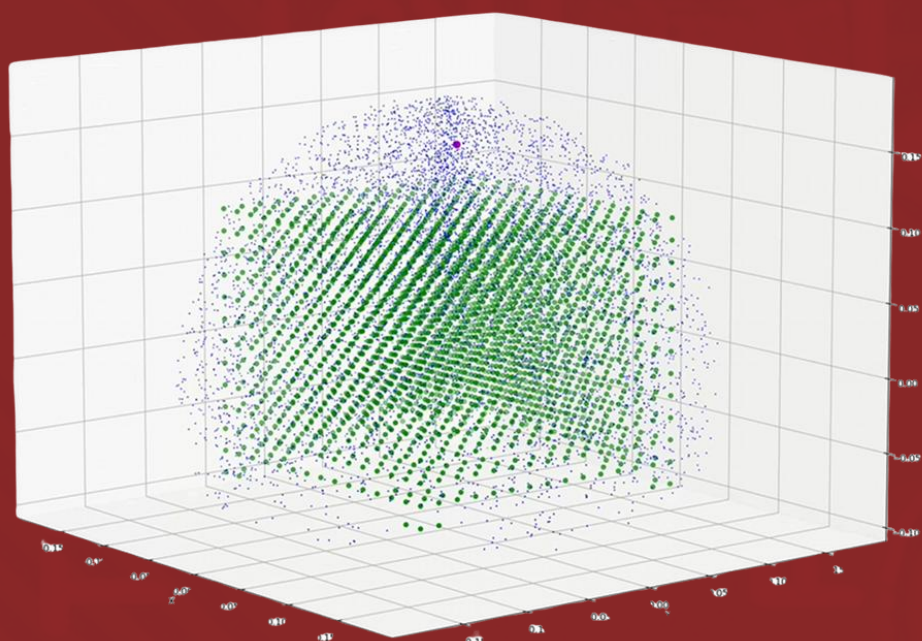


Fig. 2. Espacio de trabajo de manipulador dado por semiesfera con puntos azules; y por puntos verdes para espacio de trabajo lineal.

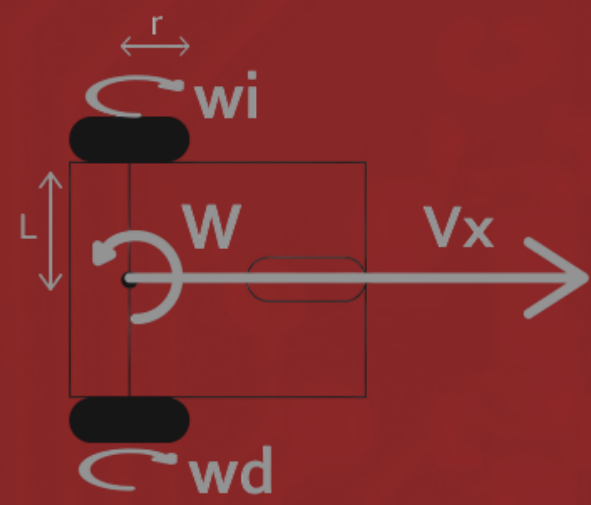


Fig. 3. Diagrama de velocidades de robot móvil.

Durante los ensayos de pick-and-place y navegación, el manipulador reprodujo correctamente las trayectorias generadas, mientras que la base móvil alcanzó los waypoints definidos por los marcadores ArUco con desviaciones dentro del margen operativo previsto [4-6].

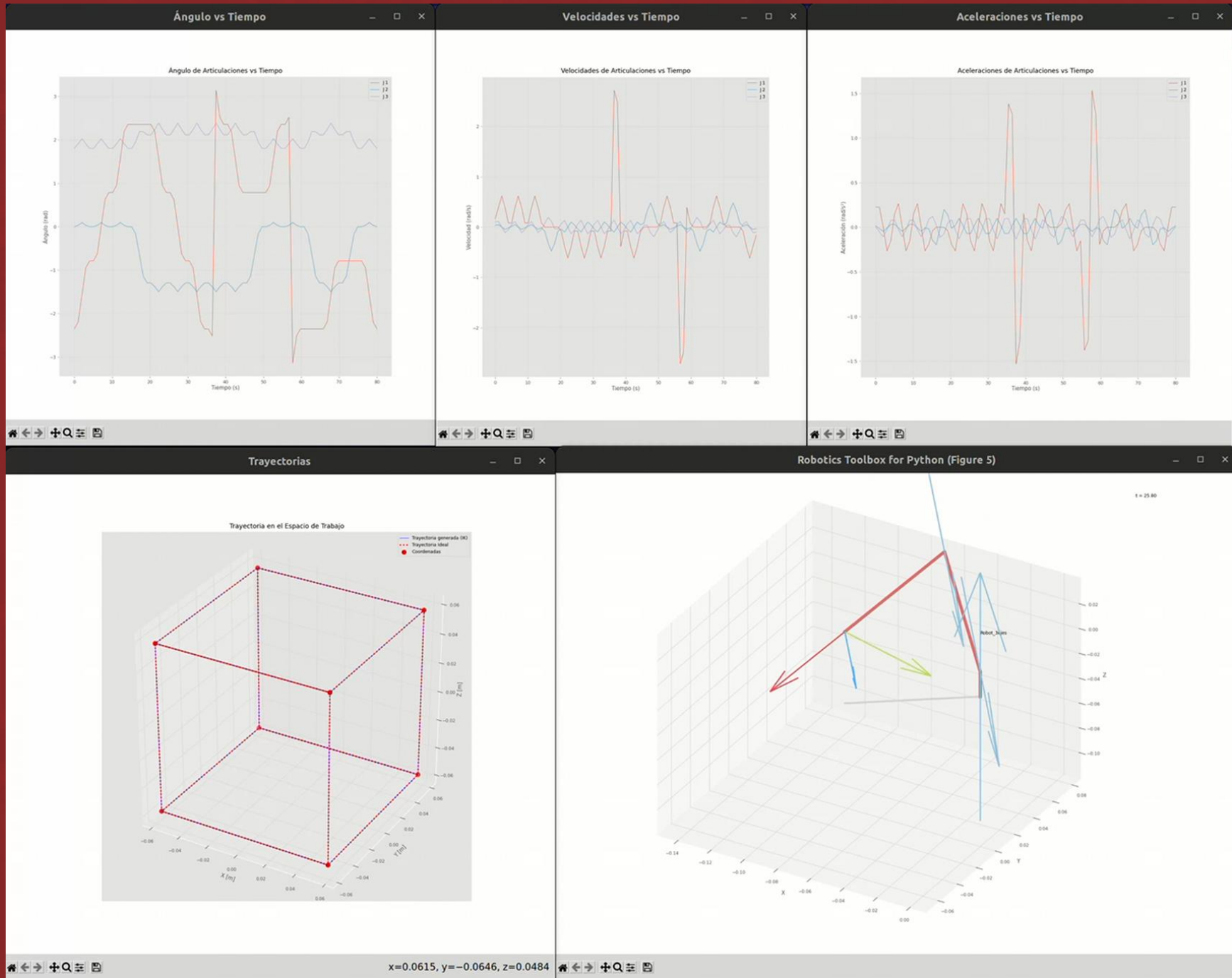


Fig. 4. Análisis de robot mediante programa de control realizado en Python, donde se puede visualizar ángulo, velocidad, aceleración y trayectoria.

La reducción mecánica 3 : 1 y la sincronización maestro-esclavo evitaron pérdidas de paso y garantizaron movimientos suaves, demostrando que la arquitectura móvil-manipulador satisface los requisitos de precisión necesarios para manipular objetos frágiles en entornos controlados.

- Conclusiones**
- La combinación de plataforma móvil diferencial y brazo de 3 GDL demostró eficacia en tareas de desplazamiento y manipulación de objetos.
 - Componentes de bajo costo (NEMA-17, ESP32, piezas PLA) y librerías open-source hicieron el sistema accesible y replicable.
 - El flujo CAD, modelo cinemático y control (SolidWorks + Denavit-Hartenberg + Python) garantizó correspondencia entre teoría y hardware.
 - La reducción mecánica 3 : 1 potenció la resolución de las articulaciones sin complejidad adicional.
 - Visión ArUco y comunicación Bluetooth lograron navegación y manipulación coordinadas.
 - El sistema superó las pruebas funcionales de navegación y pick-and-place.



Fig. 5. QR para visualizar videos del proyecto.

Referencias

- [1] S. B. Niku, Introduction to robotics: Analysis, Control, Applications, John Wiley & Sons, 2011.
- [2] J. J. Craig, Introduction to Robotics Mechanics and Control, 1986.
- [3] M. D'Addario, Manual de Robótica Industrial: Fundamentos, Usos y Aplicaciones, Createspace Independent Publishing Platform, 2016..
- [4] S. G. Tzafestas, Introduction to mobile robot control, Elsevier, 2013.
- [5] J. P. Hernández, Portafolio de Robótica, 2025. [En línea] <https://jphajp.github.io/Robotica/> (accedido 10 de abril de 2025).
- [6] P. Corke, Robotics, vision and control: Fundamental Algorithms in MATLAB, Springer, 2012.