

Propuesta de diseño mecánico aplicado en robot hexápodo, para la exploración de terrenos complejos en procesos de polinización artificial

Mechanical design proposal applied in hexapod robot, for the exploration of complex terrains in artificial pollination processes

Luis Tonatiuh Castellanos-Serrano^{1*}, Gaudencio Sedano-Castro²,
María Victoria Gómez-Águila¹, Luis Arturo Soriano-Avedaño¹,
Carlos Daniel López-Morales¹, Marcelino Aurelio Pérez-Vivar³,
Francisco García-Herrera⁴, Juan Ángel Álvarez-Vázquez⁵

¹Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola; ²Departamento de Sociología Rural; ³Departamento de Fitotecnia, ⁴Departamento de Irrigación y ⁵Centros Regionales de la Universidad Autónoma Chapingo. Carr. Federal México-Texcoco Km 38.5, CP 56230. Texcoco, Estado de México.
Correo electrónico: procesoslcce@hotmail.com (*Autor responsable)

RESUMEN

El propósito del presente trabajo es exponer los resultados de la primera fase –datos actuales– del análisis mecánico y electrónico de un robot tipo hexápodo orientado a la agricultura, que realiza caminatas complejas en terrenos irregulares; en la segunda fase, el propósito particular consiste en realizar la detección de cultivos y flora para accionar mecanismos artificiales de polinización. Este trabajo se centra en los resultados de diseño mecánico aplicado en los que se expone la metodología, los materiales, métodos, procesos, diseños, análisis cuantitativos y los resultados obtenidos, de los cuales se anexan pruebas fotográficas del funcionamiento dinámico del prototipo.

Palabras clave: hexápodo, robot araña, agricultura, robótica, propagación cultivos, caminata autónoma.

ABSTRACT

The present work presents the results of the mechanical and electronic analysis of a hexapod type robot oriented to agriculture, with the purpose of carrying out complex walks on irregular terrain (results of the first phase, current data), in the second phase the particular purpose is perform the detection of crops and flora to activate artificial pollination mechanisms. This work focuses on the results of applied mechanical design, where the methodology, materials, methods, processes, designs, quantitative analysis and results obtained are exposed, attaching photographic evidence of the dynamic functioning of the prototype.

Keywords: hexapod, spider robot, agriculture, robotics, crop propagation, autonomous walking.

INTRODUCCIÓN

Producto del avance tecnológico, el diseño de robots con formas basadas en las anatomías diversas de la naturaleza ha tomado mayor auge. Los robots apoyados en la zoomorfología arácnida son bastante conocidos. Los estudios del modelado matemático para crear el equilibrio perfecto entre los aspectos mecánicos, electrónicos, matemáticos y de programación, son de amplia precisión para lograr el desplazamiento de robots tipo hexápodo (Saranli *et al.*, 2000). Un ejemplo es el documento “Propuesta de simulación de un robot hexápodo bioinspirado en el tenebrio” (Rodríguez *et al.*, 2015), en el que se muestra la dificultad de análisis matemático que posteriormente se refleja en el diseño y algoritmo para permitir el desplazamiento de un robot con este tipo de formato.

Otro ejemplo más es el de Chamba *et al.* (2019) en su artículo “Simulación de movimiento de un robot hexápodo en entornos de realidad virtual”, quienes analizan estos dispositivos en entornos digitales, cuyo resultado permite el estudio del movimiento previo al prototipado.

La presente investigación expone los avances de diseño en la construcción de un robot arácnido de seis extremidades con tres grados de libertad en cada pata; de igual forma, se muestra el resumen metodológico de la estrategia de diseño que permitió el resultado físico del prototipo y las etapas de diseño más importantes, como son: el diseño mecánico aplicado, impresión 3D y diseño electrónico. Finalmente, se presentan los resultados con la evidencia fotográfica del prototipo diseñado, manufacturado y ensamblado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de diseño técnico se resume en el siguiente diagrama:

Investigación

- Búsqueda bibliográfica en fuentes documentales [revistas, artículos, libros, etc.]
- Navegación profunda en la web

Lista de materiales

- Cotización con proveedores
- Compra de materiales

Dibujo general

- Lluvia de ideas
- Dibujo en mano alzada
- Esquemas generales de procesos mecánicos
- Morfología de diseño de robot tipo arácnido

Simulación de SolidWorks

- Diseño de piezas
- Ensamblajes de piezas
- Planos técnicos

Manufactura de impresión 3D

- Diseño de piezas
- Ensamblajes de piezas
- Planos técnicos

Diseño electrónico

- Simulación de circuito electrónico
- Diagramas esquemáticos con simbología estandarizada
- Diseño de PCB's

Ensamble y construcción

- Manufactura de prototipado rápido
- Armado de componentes
- Ajustes y correcciones

Programación

- Metodología de ingeniería de software
- Análisis de requerimientos
- Modelado de sistema
- Diseño de algoritmos

Pruebas

- Pruebas de materiales
- Pruebas dinámicas
- Pruebas electrónicas
- Pruebas de programación

Enseguida se presenta la descripción puntual de los procesos de diseño mecánico:

- **Diseño mecánico aplicado:** Se realizó el diseño mecánico de un robot en formato tipo araña, con seis extremidades, cada pata con tres grados de libertad, lo cual permite desplazamientos complejos (Figura 1); en las extremidades del robot se creó un patrón geométrico para retirar peso y distribuir los momentos flexionantes y cortantes; por otra parte, la plataforma principal contiene la conexión electrónica, buses de datos, conexiones eléctricas, sensores y baterías.
- **Comprobación dinámica del mecanismo hexápodo:** Considerando las posiciones extremas del mecanismo, las cuales son restricciones del prototipo, se tiene que para un desplazamiento máximo de 120° y una velocidad angular máxima de 5.23 rad/s se determina la aceleración angular máxima, ecuación 1.



Figura 1. Simulación de diseño mecánico de prototipo hexápodo en SolidWorks.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t} \quad (1)$$

Donde:

ω_f : velocidad angular; $\omega_f = 5.23 \text{ rad/s}$, especificaciones técnicas del prototipo

ω_i : velocidad inicial igual a cero ya que parte del reposo

t : tiempo igual a 0.2 s, especificaciones técnicas del prototipo

Sustituyendo en 1, se obtiene la aceleración máxima igual a:

$$\alpha = 26.15 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Por lo que el torque máximo se determina teniendo en cuenta la ecuación de la cinética del sólido rígido 2.

$$T = I \cdot \alpha \quad (2)$$

Donde:

T : momento torsor máximo; kgf.cm

I : momento de inercia de masas equivalente para la posición crítica; kgf.cm^2 ; $I = 0.32 \text{ kgf.cm}^2$ y se calcula teniendo en cuenta el teorema de los ejes paralelos.

Sustituyendo en la ecuación 2, el momento torsor es igual a:

$$T_c = 8.368 \text{ kgf.cm}$$

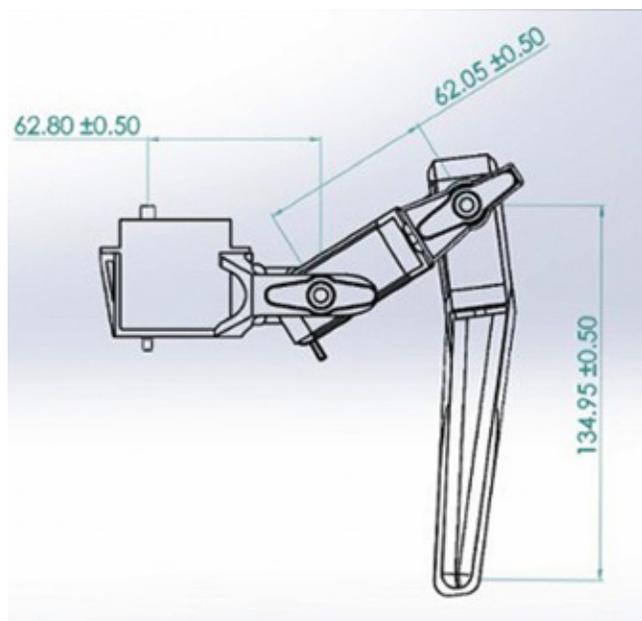


Figura 2. Simulación de diseño mecánico de prototipo hexápodo en SolidWorks.

Cumplíendose la condición ecuación 3, misma que garantizará el trabajo del prototipo diseñado, con un porcentaje de tolerancia igual a 16.32 por ciento.

$$\delta = \left[\frac{T_{et} - T_c}{T_{et}} \right] \cdot 100 \quad (3)$$

$$\delta = \left[\frac{10 - 8.368}{10} \right] \cdot 100 = 16.32 \%$$

- **Impresión 3D:** El proceso de impresión se configuró con calidad de 0.2 mm de altura de capa, ancho de piel de 0.8 mm, porcentaje de densidad de la pieza en 20%, velocidad de impresión a 100 mm/s, y una temperatura de impresión de 200° C para inyección de PLA, con temperatura de cama de 50° C para evitar el *warping* de impresión. Esta configuración se empleó en la mayoría de las piezas. El proceso se puede observar en la Figura 3.



Figura 3. Proceso de manufactura por impresión 3D con material PLA.

- **Diseño electrónico:** La conexión principal se realizó implementando un Atmega 2560. El montaje de sistema mínimo electrónico en montaje superficial se realizó en una PCB, manufacturada en Router CNC con precisión de 0.1 mm, lo que permitió el diseño compacto y ligero para resguardar un equilibrio entre el peso y las necesidades electrónicas. El control de los actuadores se logró gracias a la mediación de un módulo Pca9685, el cual se interconecta por medio de protocolo I²C, y permite el control de 16 servomotores Mg995 de 15 kg. En

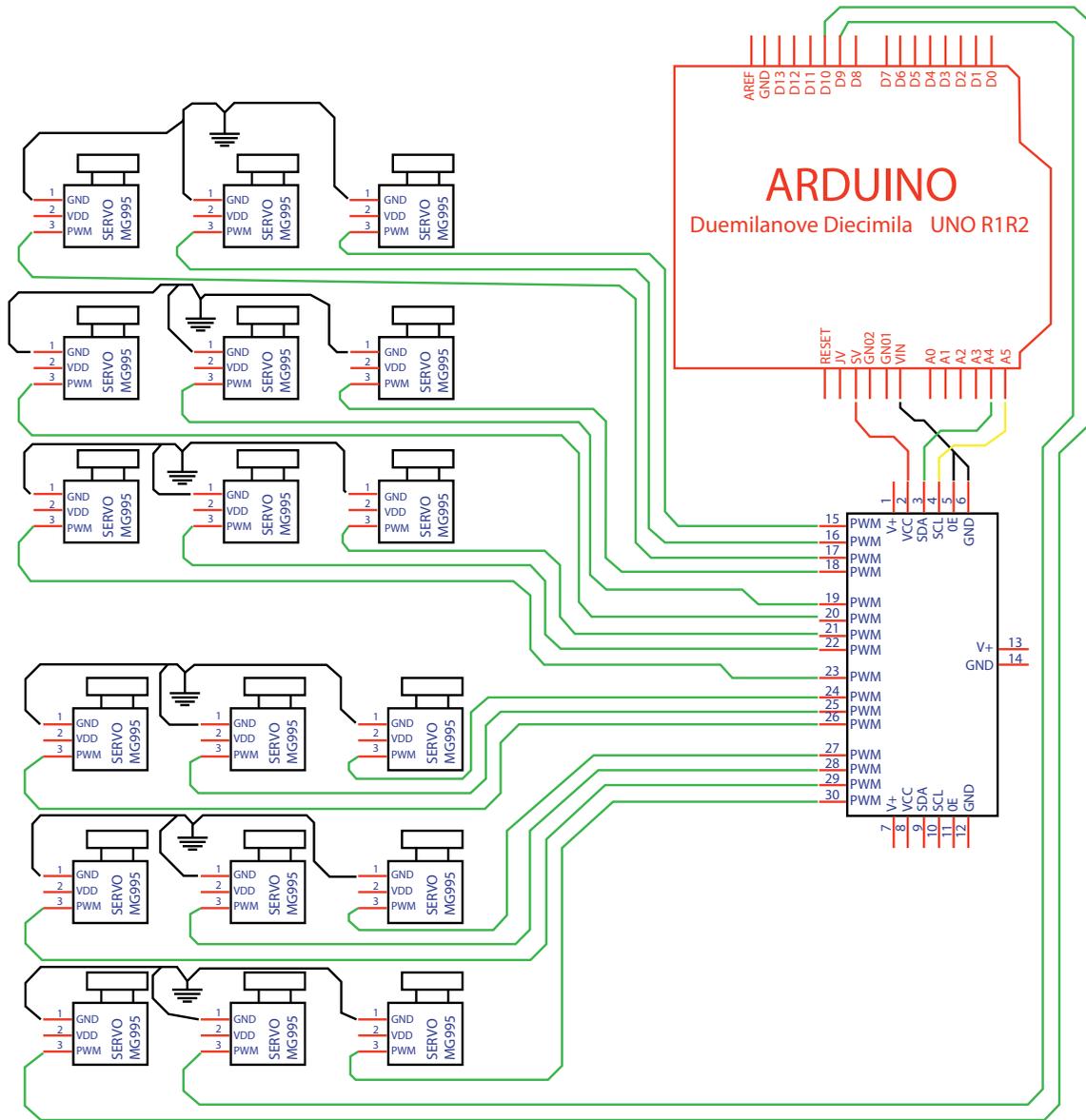


Figura 4. Diagrama de conexión electrónica.

total, el robot opera con 18 servomotores, y los dos servomotores restantes se controlan directamente con el MCU (Figura 4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado final muestra la interconexión de todas las partes del sistema, tanto mecánica, como electrónica y de programación, la cual se puede observar en la Figura 5.

Se implementó un algoritmo básico de programación de lazo abierto para probar el funcionamiento y

la caminata del hexápodo, lo cual demostró la calidad mecánica de movimientos básicos, como son acostarse, levantarse, caminar y rotar sobre su propio eje.

Posteriormente, para realizar la evaluación dinámica se creó un algoritmo para estudiar la viabilidad de fuerza de tracción en las extremidades, y observar cómo el accionamiento mecánico de eslabones en su conjunto permiten crear la fuerza de tracción correcta, la cual, a su vez, permite soportar los momentos angulares por las palancas ocasionadas en las bridas del eje de los motores a los puntos de extremos de cada eslabón.

En la figura 6 se puede apreciar el hexápodo en estado de reposo con las extremidades horizontales.



Figura 5. Prototipo ensamblado e interconectado.

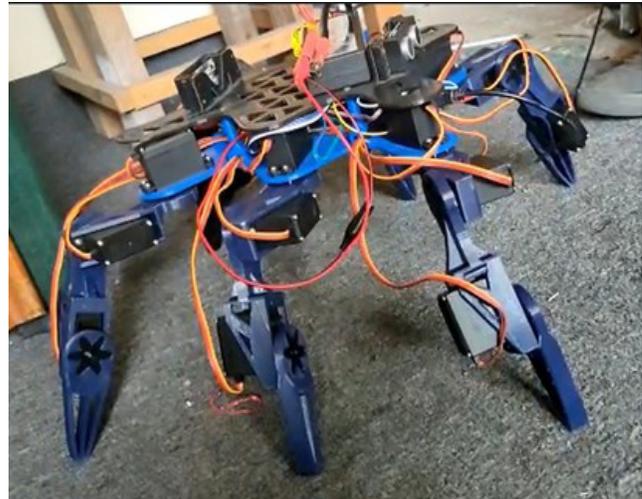


Figura 6. Prototipo hexápodo en estado de reposo.



Figura 7. Prototipo robot tipo hexápodo en protocolo de levantamiento automático.

Posteriormente, accionando el algoritmo el hexápodo coloca las extremidades en los ángulos correctos para levantarse (véase la figura 7).

Con lo anterior se corrobora que el diseño mecánico y estructural del fuselaje del robot es funcional.

CONCLUSIONES

El robot hexápodo expuesto presenta un prototipo prometedor, no obstante queda trabajo pendiente en el algoritmo de programación para dotarlo de una estructura de arquitectura compleja de Machine Learning de

aprendizaje profundo, que le permita caminatas complejas para afrontar el desplazamiento en terrenos irregulares, y de este modo anexarlo en procesos de agricultura en la práctica de polinización artificial.

De igual forma, la implementación de una cámara con protocolo P2P es ideal para dotar al hexápodo con formato de visión artificial, lo que le permitirá acceder a las funciones de detección visual en tiempo real, accionando exploraciones complejas para que realice no sólo un traslado eficiente, sino que detecte cultivos de visión artificial oportuna.

Se espera que en la segunda fase de este proyecto, se logren alcanzar las mejoras del *firmware*, al igual que las

mejoras mecánicas que permitan un diseño innovador que perfeccione las condiciones mecánicas de desplazamiento.

LITERATURA CITADA

- CHAMBA, Jonnathan, Miguel Sánchez, Marcelo Moya, Joaquín Noroña, Rafael Franco (2019). Simulación de movimiento de un robot hexápodo en entornos de realidad virtual. *Enfoque UTE*, 10(1), 173-184. [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=572262171014>
- FILESYSTEMWATCHER (Clase) [online] (2019). Documentación Microsoft. Disponible en: <https://msdn.microsoft.com/es-es/library/system.io.filesystemwatcher%28v=vs.110%29>. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84922625031> consultado en enero del 2021.
- <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914078015> consultado en enero del 2021.
- INTELIGENCIA ARTIFICIAL [online] (2019). Definición. Disponible en: <http://definicion.de/inteligencia-artificial/>
- OPENCV Cascade Classification [online] (2019). Documentación OpenCV 2.4.9. Disponible en: http://docs.opencv.org/modules/objdetect/doc/cascade_classification.html
- RODRÍGUEZ-CALDERÓN, Juan Pablo, María Fernanda Ramos-Parra y Mauricio Vladimir Peña-Giraldo (2015). Simulación de un Robot Hexápodo Bioinspirado en el Tenebrio. *Lámpsakos*, (14), 33-39. [Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=613965326006>
- SARANLI, U., M. Buehler and D. E. Koditschek, "Design, modeling and preliminary control of a compliant hexapod robot", *Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No.00CH37065)*, 2000, pp. 2589-2596, vol. 3, doi: 10.1109/ROBOT.2000.846418
- VISIÓN ARTIFICIAL [online] (2019). C.I.P. TI Tudela. Disponible en: <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>