



Programación de un Robot Bípedo de propósito para caminata recta de 150 cm

Luis Enrique Salvador Cano *

Tecnológico Nacional de México / IT de
Ciudad Guzmán,
Ciudad Guzmán, Jalisco, México

Leonardo Azael Márquez Urdiales

Tecnológico Nacional de México / IT de
Ciudad Guzmán,
Ciudad Guzmán, Jalisco, México

Mabel Magaña Verduzco

Tecnológico Nacional de México / IT de
Ciudad Guzmán,
Ciudad Guzmán, Jalisco, México

Carlos Enrique Maciel García

Tecnológico Nacional de México / IT de
Ciudad Guzmán,
Ciudad Guzmán, Jalisco, México

* Autor de correspondencia: luis.sc@cdguzman.tecnm.mx

Resumen: Los robots humanoides son bastantes interesantes debido al avance tecnológico que se va generando e implican todo un reto en su fabricación por las múltiples variables que se deben a tomar en cuenta. La realización del prototipo se genera para el propósito de desplazarse 150 cm, en línea recta, al cual se le desarrolló un programa en un ESP32, donde se controlan un total de 16 servomotores, realizando una cadena de movimientos dependiendo de la acción requerida con la ayuda de un multiplexor, y así generar su tránsito libre en línea recta.

Palabras clave: ESP32, multiplexor, programación, robot bípedo, servomotores.

6. Introducción: lo que debemos saber de inicio

A lo largo de la historia, el hombre se ha sentido fascinado por máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y los movimientos de los seres vivos, los griegos tenían una palabra específica para denominar a estas máquinas: autómatas. De esta palabra deriva el actual autómata: máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado. Los

mecanismos animados de Heron de Alejandría (85 d. C) se movía a través de dispositivos hidráulicos, poleas, palancas y tenía fines lúdicos. (Antonio., 2007).

El lenguaje C no es un lenguaje fuertemente tipificado, sino que, al evolucionar, su verificación de tipos ha sido reforzada, la definición original de C desaprobó pero permitió, el intercambio de apuntadores y enteros; esta se ha eliminado y el estándar ahora requiere la adecuada declaración y la conversión explícita que ha sido obligada por los buenos compiladores, la nueva declaración de funciones es otro paso en esta dirección, los compiladores advertirán de la mayoría de los errores de tipo, y no hay conversión automática de tipos de datos incompatibles. Sin embargo, C mantiene la filosofía básica de que los programadores saben lo que están haciendo; solo requiere que establezcan sus intenciones en forma explícita. (Brian, 1991).

El ESP32 es un microcontrolador de bajo costo y bajo consumo de energía con Wi-Fi y Bluetooth integrados, fabricado por Espressif Systems. Es un "System on a Chip" (SoC) que combina un microcontrolador con funcionalidades inalámbricas en un solo chip. El ESP32 es conocido por su versatilidad y su facilidad de uso, lo que lo convierte en una opción popular para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo dispositivos IoT, automatización industrial y más. (Programar Facil, 2025).

La metodología del proyecto se estructura en varias etapas secuenciales que incluyen el diseño conceptual, la construcción del prototipo, el desarrollo de circuitos, la programación de control y las pruebas de campo. Cada fase del desarrollo busca optimizar las capacidades del robot humanoide para una locomoción estable y adaptativa en diversos entornos.

7. Fundamentos Teóricos: reglas y principios científicos importantes

En esta fase inicial, se realizaron bocetos y esquemas para definir la movilidad y la estructura general del robot humanoide, considerando aspectos biomecánicos y el diseño de articulaciones para simular una locomoción natural. Este proceso permitió visualizar y anticipar posibles desafíos estructurales y de movilidad, y sirvió como base para la selección de componentes y materiales. Los bocetos se enfocaron en el análisis de las articulaciones, el equilibrio y los puntos de soporte, finalizando los bocetos se procedió a diseñarlos en un software CAD llamado "Solidworks" para posteriormente imprimir las piezas diseñadas en una impresora 3D.

En el apartado del circuito electrónico, se realizaron pruebas en un protoboard, utilizando una placa ESP32, un multiplexor PCA9685, servomotores y reguladores de voltaje, en estas pruebas se verificó la capacidad del circuito para identificar la potencia que requerían los servomotores y el procesamiento de datos en tiempo real. Esta fase incluyó la configuración de circuitos de prueba que ayudaron a identificar limitaciones y necesidades adicionales antes del diseño definitivo.



Figura 1. Estructura y circuito del robot bípedo. Obtenida de: elaboración propia.

Con base en los resultados de las pruebas en protoboard, se diseñó una PCB personalizada en fusión 360 para optimizar la integración de los componentes y mejorar la robustez del sistema eléctrico del robot. La fabricación de esta PCB se llevó a cabo utilizando una máquina láser, lo que permitió un control preciso en la distribución de las conexiones y un diseño compacto y funcional que reduce el peso y facilita la integración en la estructura del robot.

La programación de los algoritmos de locomoción y control del robot se realizó en el IDE de Arduino, empleando la ESP32 como la unidad de procesamiento central. Se implementaron algoritmos de equilibrio y adaptación a través de control PID y técnicas de optimización de movimientos, permitiendo que el robot ajuste sus movimientos en función de la información de los sensores. El sistema se programó para gestionar múltiples servomotores de manera sincronizada y para adaptarse a distintas condiciones de movimiento.

8. Desarrollo del Trabajo: *aplicando las reglas y principios científicos*

Con el prototipo ensamblado y programado, se llevaron a cabo pruebas en entornos controlados para evaluar la estabilidad, la adaptabilidad a diferentes superficies y la velocidad de desplazamiento. En esta fase, se verificó la capacidad del robot para moverse en terrenos variables y mantener el equilibrio. Las pruebas permitieron realizar ajustes adicionales en los algoritmos de control y en la disposición de los sensores, asegurando un desempeño óptimo en condiciones controladas antes de las pruebas en entornos reales.

A través de un esfuerzo conjunto de trabajo en equipo y tras una serie de pruebas, análisis, diseño y programación, se logró el desarrollo exitoso del robot humanoide MAKAM. Este prototipo incorpora partes móviles y cuenta con una apariencia humanoide, alcanzando los siguientes resultados destacados:

- *Capacidad de movilidad:* MAKAM es capaz de caminar y recorrer distancias en el menor tiempo posible, demostrando una notable eficiencia en desplazamiento y estabilidad.
- *Funciones de interacción básica:* El robot puede realizar acciones simples de interacción, como saludar, lo cual lo hace apto para entornos donde la comunicación básica con humanos sea relevante.
- *Capacidad de autonomía:* MAKAM tiene la habilidad de ponerse de pie por sí solo después de una caída, lo que representa un avance importante en su autonomía y capacidad de recuperación ante incidentes comunes.

Este logro representa un paso significativo en el desarrollo de robots humanoides con funcionalidades aplicables a diferentes contextos. Este trabajo fue desarrollado en el Tecnológico Nacional de México para el concurso de “Innobótica”, en su primera versión en el mes de octubre del año 2024, desarrollado en el Instituto Tecnológico de Colima.

9. Conclusiones: *lo que podemos aprender de este artículo*

Como se pudo observar, la realización de un robot humanoide tiene su cierto grado de complejidad debido a todos los elementos a tomar en cuenta, fomentando en los jóvenes en la investigación, trabajo en equipo y trabajar sus conocimientos. El trabajo realizado es un prototipo, por ende, aún se puede seguir mejorando para lograr obtener un mejor resultado,

por ejemplo, haciendo más fluido los movimientos, un mejor equilibrio, realización de más movimientos, etc.

10. Referencias: *por si quieres seguir conociendo más*

- Breazeal, C. (2002). *Designing sociable robots*. The MIT Press.
- Craig, J. J. (2004). *Introduction to robotics: Mechanics and control* (3.a ed.). Prentice Hall.
- IEEE Xplore. (s. f.a). Advancements in humanoid robot research. *Robotics and Autonomous Systems Journal*. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. <https://ieeexplore.ieee.org/>
- IEEE Xplore. (s. f.b). From perception to action in humanoid robots. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. <https://ieeexplore.ieee.org/>
- Joseph, L. (2017). *Robot Operating System (ROS) for absolute beginners: Robotics programming made easy*. Apress.
- Kim, Y., & Cho, J. (2022). Applications and challenges in humanoid robotics: Towards optimized motion and autonomous adaptation. *Journal of Advanced Robotics*, 45(3), 172-183.
- Kim, J., Lee, H., & Park, J. (2022). Advances in humanoid robotics: A review of design and applications. *Robotics and Autonomous Systems*, 135, 103923.
- Kumagai, T., & Tamura, T. (2021). Bipedal locomotion control for humanoid robots: Balancing, walking, and dynamic adaptation. *IEEE Transactions on Robotics*, 37(4), 1127-1142.
- Lee, M., & Park, D. (2020). Advances in humanoid robot locomotion: Speed, stability, and control optimization. *IEEE Transactions on Robotics*, 36(8), 3247-3258.
- MIT Media Lab. (s. f.). *Personal Robots Group*. <https://www.media.mit.edu/groups/personal-robots/overview/>
- Park, D., & Kim, H. (2020). Challenges in bipedal locomotion for humanoid robots: Balance control, adaptability, and robustness. *International Journal of Humanoid Robotics*, 17(5), 2050012.
- Shin, J., & Lee, S. (2021). Adaptive control mechanisms for humanoid robots on uneven terrains. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 6(4), 7423-7430.
- Tanaka, K., & Suzuki, R. (2021). Biomechanics-inspired control strategies for humanoid robots: Towards human-like adaptability and stability in walking. *Robotics and Autonomous Systems*, 139, 103566.
- Vadakkepat, P., & Raja, A. V. (2017). *Humanoid robotics: A reference*. Springer.