

Diseño y Construcción de un Robot Móvil Omni-Direccional Autónomo de 9 Grados de Libertad

García-Sillas, Daniel ¹; Gorrostieta-Hurtado, Efrén ²; Gonzalez-Gutierrez Arturo ³

dgarcia37@alumnos.uaq.mx, efrengorrostieta@gmail.com, aglezgtz@gmail.com

Universidad Autónoma de Querétaro

⁽¹⁾ Facultad de Informática, ⁽²⁾ ⁽³⁾ Facultad de Ingeniería

Resumen

En el siguiente artículo se presenta una descripción detallada del diseño y construcción de un robot móvil omni-direccional autónomo de 9 grados de libertad (DoF –Degrees of Freedom). Complementario a la construcción del robot, se construyó una interfaz de operación para controlar a distancia el robot también, con la finalidad de analizar los primeros movimientos y el comportamiento físico del prototipo. Para lograrlo, se hizo uso de una conexión inalámbrica para comunicarse con el robot y observar velocidad y posición de los motores así como el estado de los sensores. El robot fue construido para navegar sobre un suelo plano y está destinado a ser utilizado en aplicaciones de interior. El robot funciona con una batería y ofrece una plataforma de desarrollo de software abierto. También se construyó aplicando componentes de última generación pero conocidos y fáciles de conseguir. La construcción de este robot tiene por objeto el estudio de la inteligencia artificial aplicada en robótica.

Palabras clave: Robótica, inteligencia artificial, aprendizaje automático, cinemática.

1. Introducción

La creación de un sistema verdaderamente autónomo e inteligente que pueda detectar, aprender e interactuar con su entorno, que puede integrarse a la vida del día a día con seres humanos ha sido siempre el factor de motivación para muchos grupos de investigación en la inteligencia artificial, en la teoría de control y robótica y otras disciplinas [4].

La tecnología utilizada es muy compleja y multidisciplinaria, la cual presenta retos para los investigadores [6]. A pesar de los innumerables obstáculos, la comunidad de investigación ha logrado grandes avances al respecto. Esto es una evidencia de las innovaciones en las áreas sensores, modelado y control, construcción de mapas y planificación de la trayectoria, la inteligencia artificial y la toma decisiones y diseño de la arquitectura del sistema.

Los robots móviles participan en interacciones sofisticadas e inteligentes con diferentes entidades como objetos en general, humanos, o incluso otros robots, esto con el uso de la capacidad de detectar y percibir. Es por ello que los sensores son cruciales para el funcionamiento de los robots móviles autónomos, dándoles la capacidad de percibir el entorno de forma dinámica.

Además del amplio uso de robots en los últimos años, la investigación en métodos de control para máquinas complejas y robots se ha convertido en un tema de tendencia [8]. Los sistemas autónomos se han convertido en parte de nuestras vidas y esto ha despertado el interés de muchos grupos de investigadores en el área de robótica y mecatrónica. Esto es muy notorio, ya que cada vez podemos encontrar sistemas más inteligentes y autónomos que antes, debido a la aplicación de

componentes que consumen menos energía y ofrecen mayor funcionalidad, tal es el caso de sensores de posición que no solo ofrecen posición pero incluso orientación; cámaras con la posibilidad de procesamiento, micrófonos, etc. Por ende nuevas y emocionantes aplicaciones se pueden encontrar en los sistemas de robots móviles, y una de estas es el incremento del uso de robots autónomos que son capaces de desenvolverse en terrenos no estructurados y escabrosos como terrenos irregulares, minas, sitios de desastre, etc. Algunos de estos ejemplos son las exploraciones hechas ya a Marte [5].

Para poder enfrentarse a algunos de los desafíos a los que se presentan, el diseño de los robots debe evolucionar de una configuración tradicional a diseño que un mayor número de articulaciones para darle mayor movilidad para moverse en diversos tipos de terrenos modificando su propia configuración o morfología.

En la siguiente sección de este documento se describe una construcción de un robot autónomo omnidireccional con 9 grados de libertad, basado en una estructura reconfigurable

2. Modelo Cinemático y Simulación.

La cinemática es el estudio más básico de cómo se comporta un sistema mecánico. En robots móviles, se requiere de entender el comportamiento mecánico de un robot, en parte para diseñar un robot apropiado para ciertas tareas y por otro lado, para poder crear software de control para cierta instancia de hardware robótico [7].

A partir del estudio cinemático del robot se pueden obtener dos modelos, el modelo cinemático directo y el inverso. El directo, es una fórmula generada que da como resultado el como el robot se mueve, dada su geometría y las velocidades de las llantas [1]. El modelo inverso da como resultado las velocidades de las llantas que el robot requiere tener para lograr llegar a una posición.

2.1 Cinemática.

El robot que se presenta aquí ha sido estudiado y se ha desarrollado un modelo cinemático que encaja en una de las configuraciones más típicas, además de haberse aplicado en un ambiente simulado también. El estudio está basado en la geometría de la figura 1 [3]:

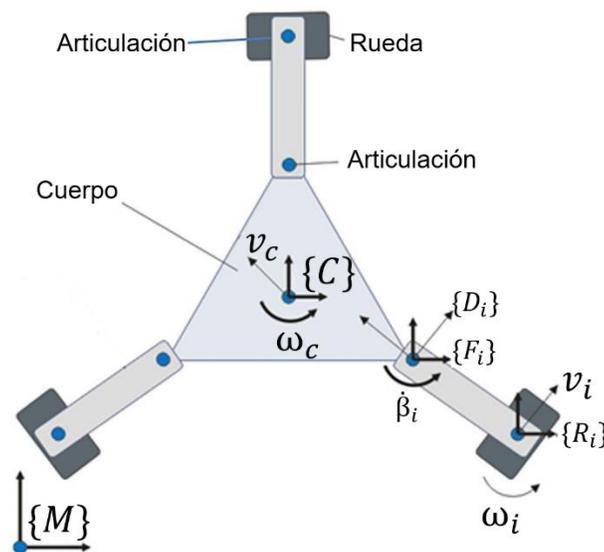


Figura 1. Estructura cinemática del robot.

Donde la posición global del robot se representa por $\{C\}$, la velocidad lineal del robot por v_c , y ω_c la velocidad angular. $\{F_i\}$ Denota la articulación i -ésima del brazo, $\{D_i\}$ la articulación conectada a la rueda y $\{R_i\}$ el punto de contacto de la i -ésima rueda. El ángulo del brazo está dado por β_i y el ángulo de la rueda por ω_i .

El modelo cinemático fue también desarrollado bajo las siguientes restricciones:

- El robot se moverá en una superficie plana.
- El robot no incluye componentes flexibles.
- Se pretende su uso en ambientes bajo techo.

La siguiente ecuación Jacobiano representa el modelo cinemático directo:

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{R}{\sqrt{3}} & \frac{R}{\sqrt{3}} \\ \frac{2R}{3} & \frac{-R}{3} & \frac{-R}{3} \\ \frac{-R}{3L} & \frac{-R}{3L} & \frac{-R}{3L} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \omega_{1x} \\ \omega_{2x} \\ \omega_{3x} \end{pmatrix} \quad (1)$$

La velocidad del robot está representado v_x y v_y , y la velocidad angular por ω_c . Las velocidades de cada una de las ruedas está dado por ω_{1x} , ω_{2x} y ω_{3x} . L representa la longitud del brazo y R el radio de la rueda. El Jacobiano inverso se expresa como sigue:

$$\begin{pmatrix} \omega_{1x} \\ \omega_{2x} \\ \omega_{3x} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{1}{R} & \frac{-L}{R} \\ \frac{\sqrt{3}}{2R} & \frac{-1}{2R} & \frac{-L}{R} \\ \frac{\sqrt{3}}{2R} & \frac{-1}{2R} & \frac{-L}{R} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_c \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.2 Simulación.

La simulación del robot utilizando las ecuaciones del modelo obtenido fue realizada en un ambiente gráfico tridimensional. Las partes gráficas del robot fueron dibujadas utilizando una herramienta CAD. Después las partes fueron integradas dentro de un ambiente que permite la integración de las ecuaciones y la manipulación de los objetos gráficos con Matlab®.

La figura 2, muestra una secuencia de imágenes de un movimiento de prueba utilizando el modelo cinemático directo.



Figura 2. Secuencia de movimiento rotacional del robot.

La figura 3, representa el movimiento lineal del robot, en una secuencia de fotos en donde el robot se aproxima de manera constante a un objeto cuadrado, en esta secuencia también se utiliza el modelo cinemático:

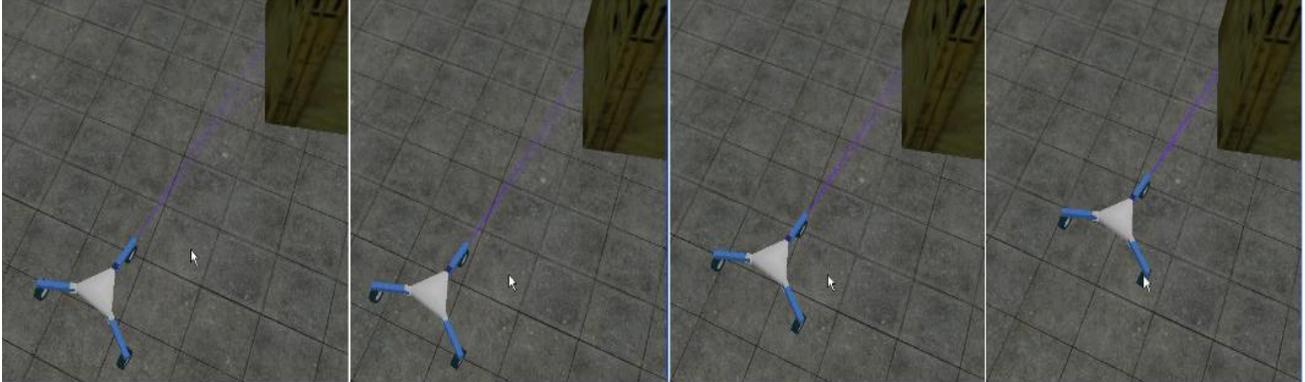


Figura 3. Secuencia de movimiento lineal del robot.

3. Construcción del robot.

Motivado por la plataforma simulada, se construyó un primer modelo físico siguiendo la misma estructura (ver figura 4). Se consideran los nueve grados de libertad, en cada extremidad se instalan dos servomotores controlados por PWM y un motor de DC para aplicar movimiento.

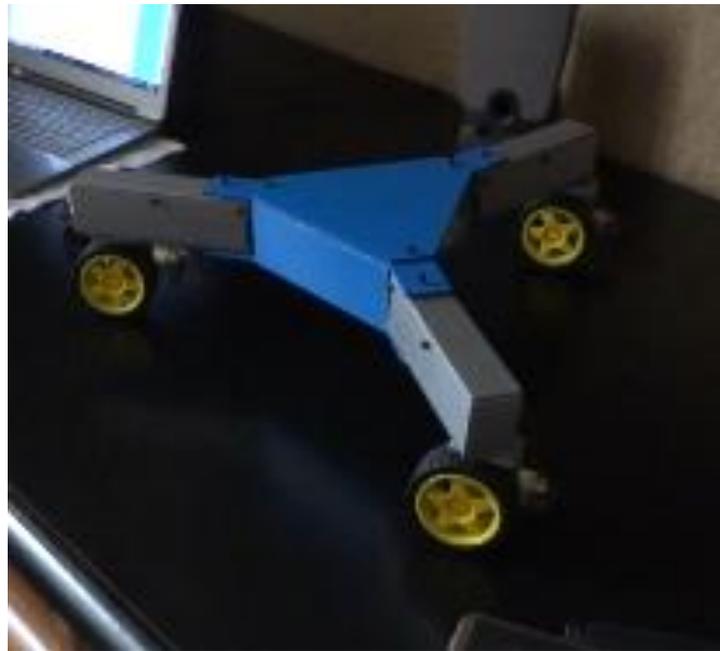


Figura 4. Primer modelo físico construido del robot móvil omni-direccional.

De aquí una segunda versión surge, donde se implementan mejoras significativas al primer diseño, dentro de ellas las dimensiones, el cuerpo del robot se propone más grande para poder alojar

componentes con mayor capacidad como baterías y tarjetas electrónicas. El cuerpo queda más elevado.

Los componentes seleccionados para mover las articulaciones y las ruedas, son servo motores Dynamixel modelo AX-18 [2], los cuales pueden realizar funciones de control de movimiento así como de llanta sinfín [2], todo ello realizando un par de configuraciones. Los AX-18 son servomotores digitales que permiten su configuración y operación a través de una comunicación serial (half-duplex) y estos retroalimentan con su actual posición y velocidad, así como temperatura, voltaje, y otros parámetros.

Para el control de los servomotores y adquisición de datos se selecciona una tarjeta electrónica Arduino modelo Mega 2560 que cuenta con diversas entradas y salidas tanto digitales como analógicas, así como cuatro puertos de comunicación serial, necesarios para la comunicación entre los servomotores y la tarjeta maestra.

La tarjeta maestra es una Raspberry pi 2 y es utilizada para ejecutar los algoritmos de control de movimiento y a su vez envía y recibe datos de posición y velocidad de la tarjeta Arduino. Abajo una lista de los componentes utilizados:

Tabla 1. Lista de componentes.

Cantidad	Descripción.
1	Tarjeta Raspberry pi 2.
1	Tarjeta Arduino Mega 2560.
9	Servo motores Dynamixel AX-18A.
6	Sensores de distancia analógico de 10 a 80 cts. de alcance.
1	Módulo de comunicación inalámbrica Wi-fi.
1	Batería de 11.1 Vcd.
1	Batería de 5 Vcd.
1	CI 74LS241
1	Tarjeta perforada para montaje de componentes.
1	Interruptor de 2 polos / 1 Tiro.

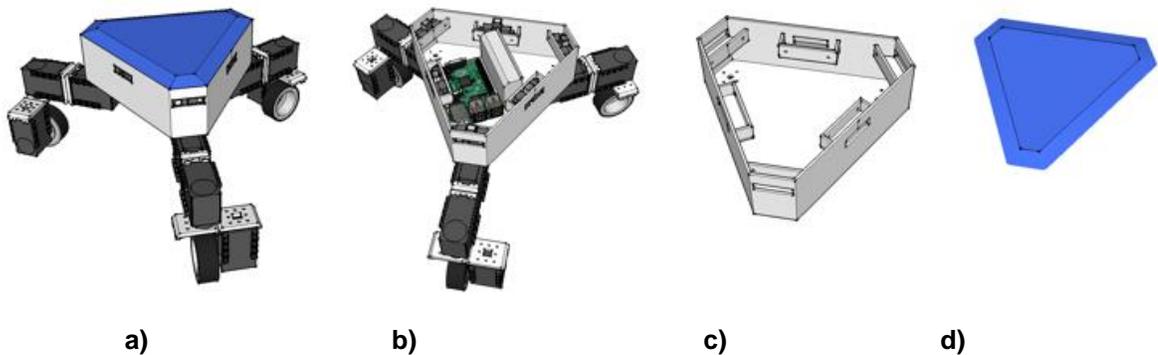


Figura 5. Diseño en SketchUp® del robot omni-direccional. De izquierda a derecha a) representa el robot completamente ensamblado, b) es el cuerpo del robot con las extremidades sin la tapa superior, c) es el cuerpo del robot el cual fue impreso y d) es la tapa superior también impresa con material ABS.

El diseño del modelo (ver figura 5) fue hecho en SketchUp®, lo que permitió como resultado el poder utilizar el archivo de salida en una impresora 3D. Esto nos permite obtener una gran precisión en la construcción del robot, lo que facilita el montaje de los componentes.

4. Resultados.

El producto que se obtiene del presente es un robot funcional de 9 grados de libertad omnidireccional y autónomo como el que se ilustra en la figura 6 (izquierda). Para realizar pruebas funcionales de movimiento fue necesario escribir una aplicación de software dentro de la tarjeta de control Raspberry (derecha).

El cuerpo del robot incluyendo la tapa fue impresas con PLC (Ácido Poli láctico) el cual es un filamento biodegradable obtenido de almidón de maíz. Para el montaje de las extremidades del robot se utiliza el herraje original de Dynamixel.



Figura 6. Robot omni-direccional autónomo de 9 grados de libertad e interface de operación (izquierda). Interface de operación del robot (derecha).

La interface envía comandos de movimiento al robot y de igual forma adquiere la información de posición y velocidad de todas las articulaciones, así como de los sensores instalados alrededor del robot mostrados en el recuadro “Sensors Monitor”.

El recuadro “Comm strings”, despliega las cadenas con las que intercambia información la tarjeta Raspberry y Arduino mega.

Una trayectoria generada por el robot, empleando la interface mencionada anteriormente de la figura 6, se muestra en la figura de abajo (figura 7). Es un ejemplo del seguimiento de la posición del mismo robot, controlando la misma dirección en las llantas y a una velocidad constante.

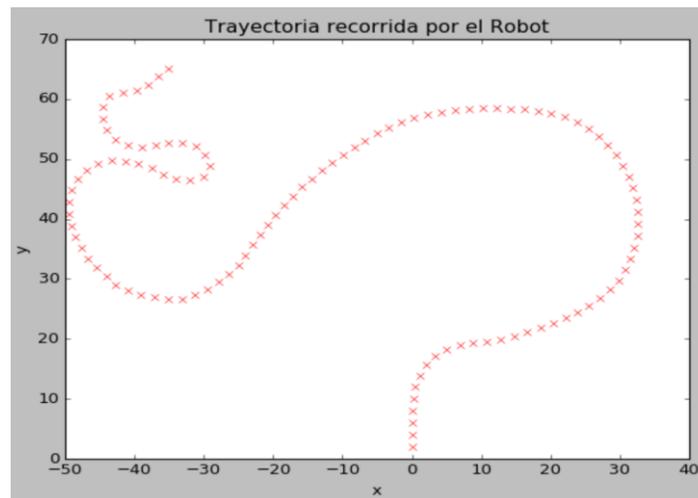


Figura 8. Diagrama eléctrico del robot.

La figura 8, muestra el diagrama eléctrico del robot. Se observa la red de servomotores conectados todos con tres hilos, dos de ellos llevan energía (11.1 Vcd) y el tercero es utilizado para comunicación conmutada RS-232 (half-duplex). Un TTL 74241 se utiliza para conmutar entre la transmisión y recepción. La comunicación con los servos es controlada por una tarjeta Arduino utilizando uno de los puertos seriales. Otro puerto serial de la tarjeta Arduino se conecta con la Raspberry lo que permite la comunicación bidireccional de los comandos de velocidad y posición de los servos y para lectura de parámetros de los mismos servos así como de los sensores de distancia infrarrojos que están conectados a las entradas analógicas de la Arduino.

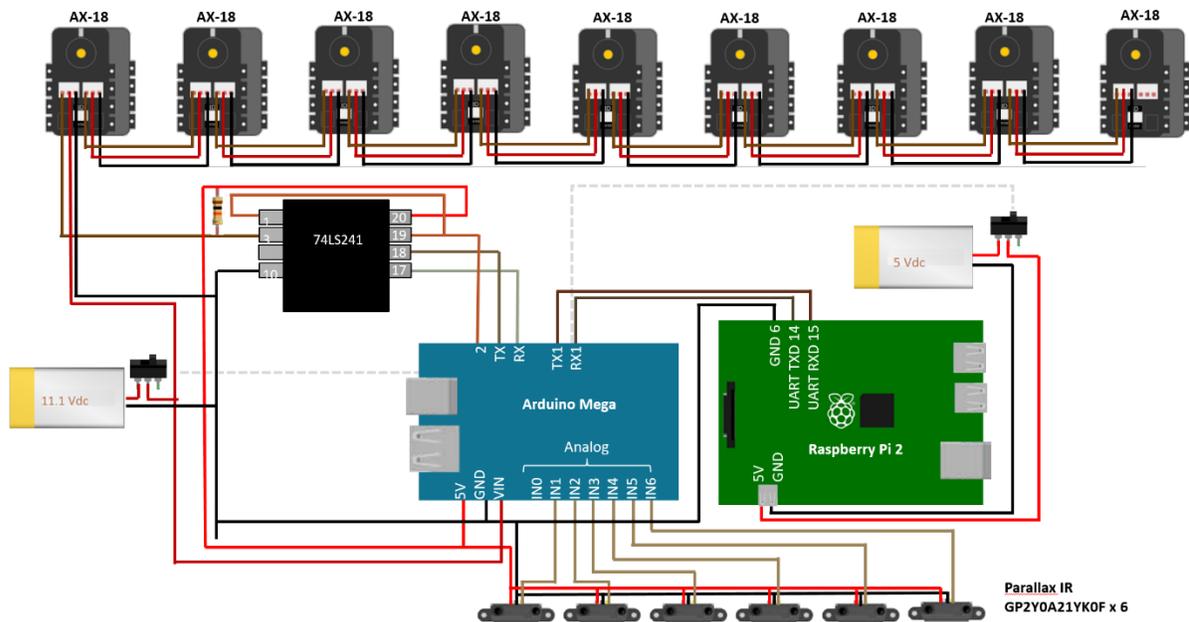


Figura 8. Diagrama eléctrico del robot.

5. Conclusiones

La intención de construir una plataforma robótica es la de tener herramientas para poder probar algoritmos de inteligencia artificial y observar el comportamiento que tienen en el mundo real. De esta manera, se logra la elaboración de un robot móvil omnidireccional funcional que permite ejecutar programas de cómputo diversos. El robot incluye sensores ópticos de distancia que le permiten obtener una retroalimentación sobre posibles obstáculos en su recorrido. Actualmente, el prototipo se encuentra listo después de una etapa de pruebas de todos los componentes así como de la comunicación de las tarjetas controladoras las cuales cuentan con la programación para ejecutar movimientos básicos en modo de operación manual desde una interface gráfica.

Aunque el robot se encuentra funcional completamente y se han realizado pruebas ya con algoritmos de inteligencia artificial, este presenta algunas oportunidades de mejora, como la eliminación de una de las baterías para poder utilizar una sola, y en su momento pudiera incorporarse un sistema de carga de batería en el mismo robot. También, pudiera ser que el control pueda ser alojado en una sola tarjeta y de esta forma minimizar el consumo de energía y prolongar la vida de la batería.

Referencias

- [1] Barrientos, A., & Barrientos, A. (2007). Fundamentos de robótica (No. 681.5 629.892). e-libro, Corp.
- [2] Dynamixel AX-12. User's Manual 2006-06-14.
- [3] Garcia-Sillas, D., Gorrostieta-Hurtado, E., Vargas, J. E., Rodríguez-Reséndiz, J., & Tovar, S. (2015). Kinematics modeling and simulation of an autonomous omni-directional mobile robot. *Ingeniería e Investigación*, 35(2), 74-79.
- [4] Ge, S. S. (2006). *Autonomous mobile robots: sensing, control, decision making and applications* (Vol. 22). CRC press.
- [5] Iagnemma, K., & Dubowsky, S. (2010). *Mobile Robots in Rough Terrain: Estimation, Motion Planning, and Control with Application to Planetary Rovers*. Springer Publishing Company, Incorporated.
- [6] Shaoqiang, Y., Zhong, L., & Xingshan, L. (2008, July). Modeling and simulation of robot based on Matlab/SimMechanics. In *2008 27th Chinese Control Conference* (pp. 161-165). IEEE.
- [7] Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to autonomous mobile robots*. MIT press.
- [8] Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2000). A real-time algorithm for mobile robot mapping with applications to multi-robot and 3D mapping. In *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA'00. IEEE International Conference on* (Vol. 1, pp. 321-328). IEEE.
- [9] Upton, E., & Halfacree, G. (2014). *Raspberry Pi user guide*. John Wiley & Sons.