

## Diseño y Construcción de un robot hexápodo con patas Theo Jansen controlado mediante un PID

Chachapoya Freddy<sup>1</sup>; Toca Luis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, Quito-Ecuador, [freddy.chachapoya@istvidanueva.edu.ec](mailto:freddy.chachapoya@istvidanueva.edu.ec)

<sup>2</sup>Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, Quito-Ecuador, [luis.toca@istvidanueva.edu.ec](mailto:luis.toca@istvidanueva.edu.ec)

**Resumen:** En este artículo se analizara el diseño y construcción de un robot hexápodo con las especificaciones técnicas del Concurso Ecuatoriano de Robótica permitiendo identificar los elementos más adecuados para la construcción de la parte electrónica, mecánica y eléctrica. Este robot será diseñado con una estructura Theo Jansen que permita el desplazamiento y un sensor Sharp para la medición de distancia hacia la pared para desplazarse en línea recta. El robot será completamente autónomo y utilizará un controlador proporcional integral derivativo (PID) para mantener un movimiento paralelo a la pared.

**Palabras clave:** Robot, hexápodo, Theo Jansen, controlador, sensor, autónomo.

### *Design and Construction of a Hexapod robot with Theo Jansen legs controlled by a PID*

**Abstract:** This article will analyze the design and construction of a hexapod robot with the technical specifications of the Ecuadorian Robotics Contest, allowing the identification of the most suitable elements for the construction of the electronic, mechanical and electrical parts. This robot will be designed with a Theo Jansen structure that allows movement and a Sharp sensor to measure the distance to the wall to move in a straight line. The robot will be completely autonomous and will use a proportional integral derivative (PID) controller to maintain a movement parallel to the wall.

**Keywords:** Robot, hexapod, Theo Jansen, controller, sensor, autonomous.

## 1. INTRODUCCIÓN

La robótica ha logrado un gran desarrollo durante los últimos veinte años, según López (2011) la robótica ha permitido que se articulen y aglutinen ciencias como la mecánica, programación y electrónica. Estas ciencias han aportado para la creación y mejora en la construcción de robots permitiendo un desarrollo en los prototipos.

En el transcurso del tiempo se han generado prototipos con características biológicas que tienen patas, los principales objetivos de estos robots

móviles han sido el acceso a lugares de difícil entrada, de acuerdo con Ollervides (2013) los robots móviles han ganado un gran espacio por la adaptación para trabajar en diferentes entornos como: laboratorios de Universidades, en las bases militares buscando granadas e incluso dentro de la carrera espacial han sido muy solicitados estos prototipos.

Uno de los sistemas mecánicos que se ha estudiado para el desplazamiento de los robots es del de patas, ya que este permite mejorar el movimiento de los robots y su desplazamiento por diferentes terrenos.

1. Estudiante de Tecnología en Electromecánica, Sexto Nivel, Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, [freddy.chachapoya@istvidanueva.edu.ec](mailto:freddy.chachapoya@istvidanueva.edu.ec)
2. Ingeniero en Electrónica y Control, [luis.toca@istvidanueva.edu.ec](mailto:luis.toca@istvidanueva.edu.ec)

Para identificar las estructuras más óptimas para el movimiento se optó por copiar la estructura ósea de los animales de esa forma se puede obtener sistemas de movimiento funcionales y estables para prototipos robóticos.

Por estas razones el estudio de un robot con patas es indispensable dentro de la robótica ya que estos proveen de muchas ventajas con respecto a los otros mecanismos de desplazamiento.

## 2. TIPOS DE ROBOTS CON PATAS

Estos robots tienen como mecanismos de desplazamiento patas las cuales se mueven de forma sincronizada. Estos robots se clasifican por el número de patas que poseen.

**2.1. Robot Bípedo:** Los robots bipedales o de dos patas exhiben un movimiento bípedo. Como tales, se enfrentan a dos problemas principales. Control de estabilidad, que se refiere al equilibrio de un robot, y Control de movimiento, que se refiere a la capacidad de un robot para moverse (Obando, 2018).

El control de estabilidad es particularmente difícil para los sistemas bípedos, que deben mantener el equilibrio hacia adelante y hacia atrás incluso en reposo. Algunos robots, especialmente los juguetes, resuelven este problema con pies grandes, que proporcionan una mayor estabilidad y reducen la movilidad. Alternativamente, los sistemas más avanzados usan sensores como acelerómetros o giroscopios para proporcionar retroalimentación dinámica de una manera que se aproxime al equilibrio de un ser humano. Tales sensores también se emplean para el control de movimiento y caminar (Obando, 2018).

A continuación se muestra un robot bípedo el cual posee dos extremidades similares a los humanos.



Figura 1. Robot Bípedo  
Fuente: (Obando, 2018)

**2.2. Robot Cuadrúpedo:** Los robots cuadrúpedos o de cuatro patas exhiben movimiento cuadrúpedo. Se benefician de una mayor estabilidad sobre los robots bípedos, especialmente durante el movimiento. A velocidades lentas, un robot cuadrúpedo puede mover solo una pierna a la vez, asegurando un trípode estable. Los robots de cuatro patas también se benefician de un centro de gravedad más bajo que los sistemas de dos patas (Solano, 2018).

En la figura 2 se muestra un robot cuadrúpedo el cual se asemeja mucho a los animales como los caballos, vacas, perros, etc.



Figura 2. Robot Cuadrúpedo  
Fuente: (Obando, 2018)

**2.3. Robot Hexápodo:** El hexápodo es una estructura animada o inanimada que consta de seis extremidades las cuales están ubicadas paralelamente entre ellas en un cuerpo, dotado de movimiento voluntario o controlado. Como ejemplo de seres animados hexápodos se encuentran alguna variedad de insectos como las hormigas; y como inanimados la representación de estos mismos seres en forma robótica (Solano, 2018).



Figura 3. Robot hexápodo  
Fuente: (Solano, 2018)

### 2.3.1 Clasificación de los robots hexápodos:

Dentro de la clasificación de los robots hexápodos se analizará según su configuración física o posición de las patas.

#### 2.3.1.1 Configuración bilateral:

Esta configuración presenta una simetría a lo largo del eje longitudinal del robot. Tiene ventaja a la hora de la programación de los movimientos, ya que la configuración física del robot aporta para el avance con movimientos paralelos, pero presenta inconvenientes en otro tipo de 16 movimientos, en especial en movimiento de giros. Esto se puede arreglar implementando en la programación de control una parte exclusivamente para el giro pero presenta complicaciones en el desarrollo del software ya que se debe realizar estrategias de movimiento más robustas y con mayor número de estados (Valero, 2011).

Este tipo de configuración es similar a la morfología de algunos insectos entre los cuales se puede encontrar el de la hormiga, debido a la disposición de las extremidades con su estructura física (Valero, 2011).

En la figura 4 se muestra la estructura de un robot hexápodo el cual tiene una distribución de patas bilaterales ya que se encuentran en lados opuestos a la misma altura y posición.

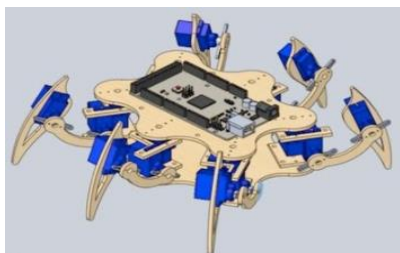


Figura 4. Robot hexápodo configuración bilateral  
Fuente: (Valero, 2011)

#### 2.3.1.2 Configuración radial:

Esta configuración presenta una distribución de las extremidades en forma circular lo cual no presenta problemas de desplazamiento, ya que su movimiento en cualquier dirección es igual. Es decir que estos tipos de robots son holonómicos (Valero, 2011).

Este tipo de configuración se asemeja a la morfología de una araña *Loxosceles laeta*, debido a la disposición de las extremidades entorno al cuerpo de la misma (Valero, 2011).

En la figura 5 se muestra la disposición radial de las seis patas las cuales se encuentran distribuidas a 60 grados con respecto a la anterior lo que le permitirá movimiento de giros más precisos.



Figura 5. Robot hexápodo configuración radial  
Fuente: (Valero, 2011)

#### 2.3.1.3 Configuración Theo Jansen:

El mecanismo Theo Jansen simula el movimiento de la pata de un animal como se observa en la figura 6. Theo Jansen nació el 14 de marzo de 1948 en Scheveningen al sur de Holanda. Actualmente reside en Holanda, donde además, él ha trabajado durante los últimos 10 años. Centrándose, en el diseño y perfeccionando de las máquinas, las cuales han evolucionado con un algoritmo evolutivo; donde el criterio principal es el rendimiento de los elementos a la tarea encomendada. Haciendo de los errores de cada generación, la siguiente algo mejor. Este diseño proporcionará una forma sencilla de simular el andar de una pata real controlados por un solo elemento que podría ser un motor o el viento (Narváez, 2004).

Entre los mecanismo que ha creado Theo Jansen destacan: Geneticus, Rinoceronte, Sabulosa y Ventosa en las que el viento ha sido utilizado como motor.

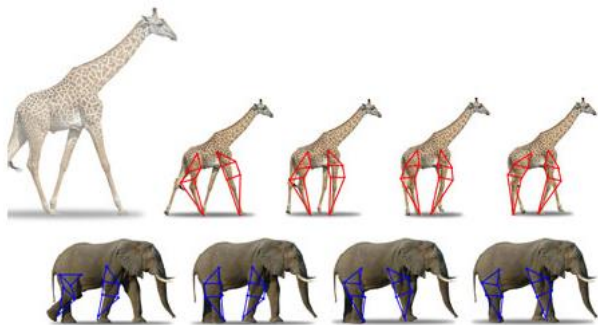


Figura 6. Movimiento de las patas de un animal  
Fuente: (Narváez, 2004)



Figura 8. Arduino Nano  
Fuente: (Mechatronics, 2004)

Dentro de este proyecto se utilizara una estructura Theo Jansen de seis patas para el movimiento del robot hexápodo permitiendo simular el movimiento de los animales cuadrúpedos, pero al tener dos patas extra proporcionara una mayor estabilidad al momento de incrementar la velocidad de desplazamiento.

En la figura 7 se muestra la estructura Theo Jansen para un robot.



Figura 7. Estructura Theo Jansen para robot  
Fuente: (Narváez, 2004)

### 3. DISEÑO ELECTRÓNICO

En el diseño electrónico se explicara los principales componentes y circuitos implementados para la creación y funcionamiento de un robot hexápodo con patas Theo Jansen.

**3.1. Arduino Nano:** Es una pequeña y completa placa basada en el Microcontrolador ATmega328P de Atmel. Posee el mismo Microcontrolador que la tarjeta Arduino Uno, con la misma cantidad de pines digitales e incluso dos entradas analógicas adicionales. El Arduino Nano fue diseñado por la empresa Gravitech (USA) para trabajar montado en un Protoboard, y así facilitar el prototipado de los circuitos (Mechatronics, 2020).

**3.2. Micromotor:** Es pequeño de alta calidad destinado a ser utilizado con un voltaje de alimentación de 6 voltios, este tipo de motor puede funcionar a tensiones por encima y por debajo de este voltaje nominal, por lo que debe operar cómodamente en el rango de 3-9 V. Todos los motores con engranaje de micro metal tienen las mismas dimensiones físicas, pero vienen en un amplio rango de trabajo, con características de engranajes de engranajes de 5:1 hasta 2981:1 (Solano, Solano, & Valdivieso, 2018)



Figura 9. Micromotor  
Fuente: (Néstor, 2003)

**3.3. Sensor Sharp:** El GP2Y0A041SK0F Sensor de proximidad infrarrojo Sharp es un dispositivo opto electrónico que permite medir distancia mediante la reflexión de luz infrarroja. (Mechatronics, 2020)



Figura 10. Estructura Theo Jansen para robot  
Fuente: Elaboración Propia

**3.4. Driver L298N:** Es un pequeño amplificador de corriente; la función de los Drivers de motor es tomar una señal de control de baja corriente y luego convertirla en una señal de corriente más alta que pueda conducir un motor. (Obando, 2018)



Figura 11. Estructura Theo Jansen para robot  
Fuente: (Mechatronics, 2004)

**3.5. Bluetooth HC-05:** El permite conectar proyectos con Arduino a un smartphone, celular o PC de forma inalámbrica (Bluetooth), con la facilidad de operación de un puerto serial. La transmisión se realiza totalmente en forma transparente al programador, por lo que se conecta en forma directa a los pines seriales del microcontrolador (respetando los niveles de voltaje, ya que el módulo se alimenta con 3.3V).

Todos los parámetros del módulo se pueden configurar mediante comandos AT. La placa también incluye un regulador de 3.3V, que permite alimentar el módulo con un voltaje entre 3.6V - 6V.



Figura 12. Módulo Bluetooth HC-05  
Fuente: (Mechatronics, 2004)

**3.6. Circuito Implementado:** Aquí se detallará la forma de conexión de los elementos para el funcionamiento del robot.

**3.6.1. Conexión de los sensores Sharp:** Dentro del diseño electrónico los sensores son la parte

fundamental del sistema de desplazamiento ya que estos le permite medir la distancia del robot hacia la pared. Para la conexión de los sensores se debe conectar Vcc y Gnd para la alimentación de los sensores. El pin de señal de los sensores será conectado a un puerto analógico del Arduino. En la figura 13 se muestra la forma de conexión de los sensores.

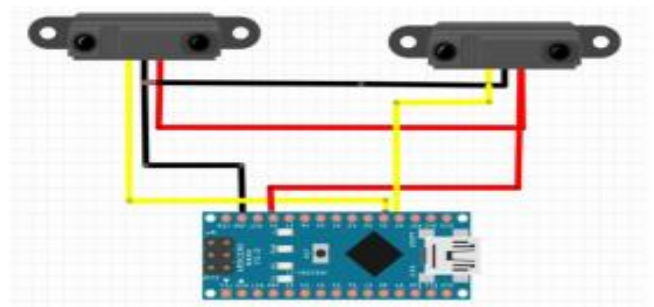


Figura 13. Conexión de los sensores hacia el Arduino  
Fuente: Elaboración propia

**3.6.2. Conexión del driver:** Para la conexión del driver L298D al Arduino se debe conectar Vcc y Gnd del Arduino hacia el driver este voltaje permitirá la activación del driver. Además se debe conectar 3 cables por cada motor que son IN1 e IN2 los cuales controlan la dirección de funcionamiento del motor y ENA con el cual se controla la velocidad del motor.

Como ultima conexión se debe conectar el borne positivo y negativo del motor hacia las borneras OUT del driver.

En la siguiente figura se muestra la forma de conexión del Arduino, Driver y motores.

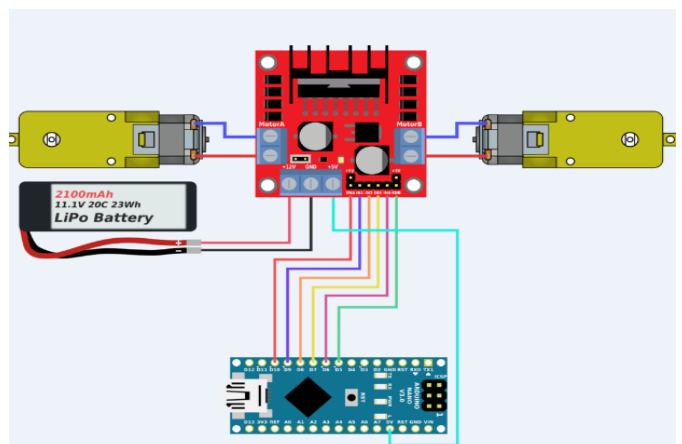


Figura 14. Conexión de Arduino al driver y motores  
Fuente: Elaboración Propia

## 4. DISEÑO MECÁNICO

Aquí se explicará el diseño mecánico implementado para la unión de la estructura Theo Jansen hacia los motores.

**4.1. Diseño de base principal:** Se diseña una base en Inventor, este software permite el diseño en 3D de piezas mecánicas para adecuar a medidas según las necesidades del prototipo.

Después de diseñar la base principal será impresa en material PLA, en la Figura 15 se puede visualizar las dimensiones y forma de esta estructura, esta base tiene dos funciones una es sostener la mayor parte de elementos electrónicos (motores, Arduino, driver y Bluettoth) y su segunda función es sostener a las extremidades (izquierda y derecha) del mecanismo Theo Jansen.

Se usa dos extremidades Theo Jansen de manera que permita realizar giros como un robot diferencia pero con articulaciones de patas.



Figura 15. Estructura principal de soporte  
Fuente: Elaboración Propia

**4.2. Diseño de uniones de motores y estructura Theo Jansen:** En el software Inventor se procede a realizar unos matrimonios los cuales serán impresos en PLA y servirán como conexión entre el eje de rotación del mecanismo y el eje de los micromotores. En la figura 16 se muestra la forma del matrimonio creado.

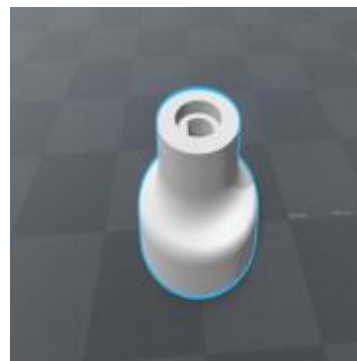


Figura 16. Matrimonio para eje de micromotor  
Fuente: Elaboración Propia

**4.3. Ensamblado de la estructura Theo Jansen:** Se ensambla las 6 primeras piezas similares, empezando por el pie de la estructura donde se inserta un pedazo de goma, el cual permitirá que la locomoción tenga un mejor soporte cada que realice una pisada. A continuación, se procede a unir el pie de estructura con la parte A, con el triángulo y la parte B formando una figura similar a un trapecio.

En la figura siguiente se muestra la forma de ensamblado de la estructura Theo Jansen.

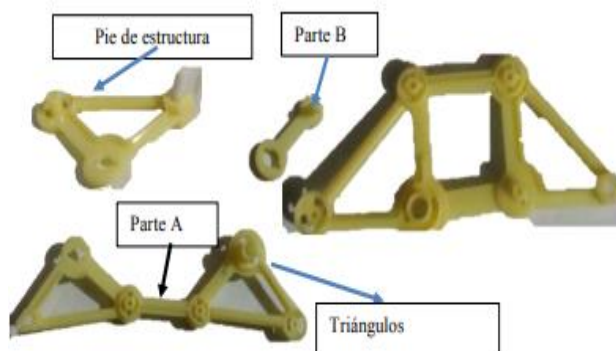


Figura 17. Ensamblado de la estructura Theo Jansen  
Fuente: Elaboración Propia

Como actividad consecutiva se procede a unir el trapecio con los soportes triangulares y el eje de rotación a manera de tener unidas las piezas y pueden girar de manera uniforme dentro de todo el mecanismo.



Figura 17. Estructura Theo Jansen  
Fuente: Elaboración Propia

## 5. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN

Dentro de este apartado se explicara el algoritmo PID implementado para el control autónomo del robot y movimiento en línea recta con respecto a una pared.

**5.1. Algoritmo Proporcional Integral Derivativo PID:** Un controlador o regulador PID es un dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. El controlador PID está compuesto de tres elementos que proporcionan una acción Proporcional, Integral y Derivativa. Estas tres acciones son las que dan nombre al controlador PID.

**5.1.1. Acción Proporcional:** Como su nombre indica, esta acción de control es proporcional a la señal de error  $e(t)$ . Internamente la acción proporcional multiplica la señal de error por una constante  $K_p$ . Esta acción de control intenta minimizar el error del sistema. Cuando el error es grande, la acción de control es grande y tiende a minimizar este error. Aumentar la acción proporcional  $K_p$  tiene los siguientes efectos: (Gálvez, 2005)

1. Aumenta la velocidad de respuesta del sistema.
2. Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
3. Aumenta la inestabilidad del sistema

**5.1.2. Acción Integral:** Como su nombre indica, esta acción de control es proporcional a la derivada de la señal de error  $e(t)$ . Aumentar la constante de control derivativa  $K_d$  tiene los siguientes efectos: (Gálvez, 2005)

1. Aumenta la estabilidad del sistema controlado.
2. Disminuye un poco la velocidad del sistema.
3. El error en régimen permanente permanecerá igual

**5.1.3. Acción derivativa:** Esta acción de control como su nombre indica, calcula la integral de la señal de error  $e(t)$ . La integral se puede ver como la suma o acumulación de la señal de error. A medida que pasa el tiempo pequeños errores se van sumando para hacer que la acción integral sea cada vez mayor. Con esto se consigue reducir el error del sistema en régimen permanente. Aumentar la acción integral  $K_i$  tiene los siguientes efectos: (Gálvez, 2005)

1. Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
2. Aumenta la inestabilidad del sistema.
3. Aumenta un poco la velocidad del sistema.

**5.2. Algoritmo PD implementado en el robot:** El algoritmo a implementar es un algoritmo PD ya que el robot no necesita la parte integral porque siempre esta cambiando de acuerdo a la forma de la pared que sigue.

Para la implementación de este algoritmo primero se mide la distancia ( $d$ ) del robot hacia la pared con el sensor Sharp, con el valor de set point ( $set$ ) que es igual a 10cm para que el robot no se choque se calcula el error. A continuación se muestra la ecuación para el cálculo del error.

$$error = d - set \quad (1)$$

Después se calcula la acción de control  $u(n)$  mediante la siguiente formula.

$$u(n) = K_p * e(n) + K_D * (e(n) - e(n - 1)) \quad (2)$$

Con el cálculo del error y la acción de control se tiene dos posibilidades que el error sea positivo o negativo, según este valor se toma dos decisiones posibles que se detallan a continuación.

Si el error es negativo:

$$motor_{izquierdo} = velocidad_{robot} + u(n) \quad (3)$$

$$motor_{derecho} = velocidad_{robot} \quad (4)$$

Si el error es positivo:

$$motor_{izquierdo} = velocidad_{robot} \quad (5)$$

$$motor_{derecho} = velocidad_{robot} + u(n) \quad (4)$$

Con esta variación de la velocidad en las patas el robot se mantiene a una distancia de 10 cm de la pared.

## 6. PRUEBAS Y RESULTADO

En este apartado se detallará las pruebas realizadas a diferentes valores de Kp y Kd para el desplazamiento del robot.

**6.1. Robot hexápodo:** A continuación, se muestra el prototipo final implementado el cual tiene todos los elementos expuestos y sistema mecánico funcional. Además, se puede observar el uso de las patas Theo Jansen en los dos extremos del robot lo que le permitirá realizar giros más rápidos y dentro de su propio eje al poseer un sistema deferencial de motores.



Figura 18. Robot hexápodo con estructura Theo Jansen  
 Fuente: Elaboración Propia

**6.2. Tiempos obtenidos a diferentes valores de Kp y Kd:** Dentro de este apartado se muestra una tabla en la cual se detalla cuatro pruebas realizadas al momento de calibrar la variable Kp y Kd del robot permitiendo disminuir el tiempo que se demora en recorrer el robot una distancia de 3 metros.

Tabla 1: Calibración del Robot

	1	2	3	4
Kp	2.1	2.4	2.6	2.6
Kd	3.5	3.4	2.4	2.5
Tiempo (s)	20	18	15	12

Fuente: Elaboración Propia

En la prueba 1 el robot no se movía de forma estable, este tenía un movimiento de lado a lado y casi se chocó con la pared.

En la prueba 2 se aumentó la variable Kp y Kd y el robot se movió de forma más estable pero el tiempo de recorrido no disminuyó mucho.

En la prueba 3 se redujo el valor de kd y se aumentó el valor de kp permitiendo que el robot se mantenga más estable y su tiempo disminuya a 15 segundos.

En la prueba 4 se mantuvo el valor de kp y se aumentó el valor de kd permitiendo que el robot este completamente estable y el tiempo se reduzca a 12 segundos.

## 7. CONCLUSIONES

- La locomoción Theo Jansen queda comprobada como la armadura más liviana y adecuada para este tipo de robots, los ejes de rotación de este armazón unidos a cada motor soportan un rango de (125-255) PWM
- La unión que generan los matrimonios entre los ejes de rotación de la estructura y los ejes de cada motor juegan el papel más importante ya que conectan la estructura mecánica y la electrónica.
- El controlador PD mediante las variables Kp y Kd permite calibrar las velocidades de los motores hasta que este pueda seguir una pared de forma estable y en el menor tiempo posible



- corrigiendo los errores que aparecen al desplazarse,
- El uso de un sistema de tracción diferencial con estructura Theo Jansen permite giros en su propio permitiendo una gran ventaja con los otros tipos de locomociones como bípedo o cuadrúpedo.
  - Al usar una estructura de 6 patas permite el que robot sea más estable y pueda alcanzar velocidades mayores evitando caídas u choques con otros objetos.

## 8. RECOMENDACIONES

- Es recomendable diseñar y reimprimir una estructura Theo Jansen a escala para no tener que hacer cortes en la construcción original y generar posibles fallas mecánicas
- Es aconsejable utilizar un driver LM298N por la facilidad mecánica para ser sustituido en caso existir un accidente dentro de una competencia
- Se sugiere realizar una construcción en los soportes triangulares externos del robot con el fin de ubicar los sensores de distancia

## REFERENCIAS

- Delcomyn, F., & Nelson, M. E. (2000). Architectures for a biomimetic hexapod robot. *Robotics and Autonomous Systems*, 5-15.
- Edi Tudela. (11 de Julio de 2020). Edi Tudela. Obtenido de Editudela: <http://www.etitudela.com/profesores/rpm/rpm/downloads/robotica.pdf>
- Gálvez, J. (25 de marzo de 2005). Portal de acceso abierto de la Universidad Politécnica de Catalunya. Obtenido de Portal de acceso abierto de la Universidad Politécnica de Catalunya: <http://hdl.handle.net/2099.1/3607>
- Robótica. (15 de junio de 2020). Revista de Robots. Obtenido de Revista de Robots: <https://revistaderobots.com/robots-y-robotica/robots-industriales-y-robotica-industrial/>
- Sara, García Rodríguez. (15 de febrero de 2016). Probeta Mag. Obtenido de ProbetaMag: <http://www.probetamagazine.com/las-criaturas-cineticas-de-theo-jansen-o-la-comunion-de-ingenieria-y-arte>
- T.Bem. (25 de marzo de 2016). T.Bem . Obtenido de T.Bem: <https://teslabem.com/tienda/sensor-sharp-4-30-cm-gp2y0a41sk0f/>
- Valero, R., Ortega, F., Schatloff, O., Sivaraman, A. (2011). Cirugía robótica: Historia e impacto en la enseñanza. *Actas Urológicas Española*, 540-545.
- Aymacaña, W., & Mullo, E. (2009). Diseño y construcción de un robot hexápodo con sistema de articulaciones de apéndice flexible diseñado para lugares de difícil acceso, con sistema de control remoto y monitoreo en tiempo real. Latacunga: ESPEL.
- Mechatronics, N. (24 de enero de 2020). Tutorial Sensor de Distancia SHARP. Obtenido de Tutorial Sensor de Distancia SHARP: [https://naylampmechatronics.com/blog/55\\_tutorial-sensor-de-distancia-sharp](https://naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp).
- Narváez, A., & Padilla, C. (03 de agosto de 2004). Ensamblaje y control de un Robot Hexápodo. Ensamblaje y control de un Robot Hexápodo. Quito.
- Néstor, M., & Fernández, P. (2003). Robot Hexápodo. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Obando, L. (20 de noviembre de 2018). Dademuch. Obtenido de Dademuch: <https://dademuch.com/2018/04/26/driver-de-motor-dc-electronica-de-potencia/>

Onieva Johansson, J. G. (2019). Mecanismo Theo Jansen. En J. G. Onieva Johansson, *Diseño y construcción de un mecanismo andante* (págs. 15-20). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Pardo, C. (23 de marzo de 2020). Picuino. Obtenido de Picuino: <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>

Solano, J., Solano, C., & Valdivieso, C. (03 de 06 de 2018). Repositorio de Espol. Obtenido de Repositorio de Espol: <https://pdfs.semanticscholar.org/79e0/b5517525159f992b44b44c62a49d503ceeb.pdf>

Ulloa, L. (2017). *Diseño e Implementación de un Robot Hexápodo controlado inalámbricamente mediante arduino y Android equipado con director electrónico óptico*. Guayaquil: UPS