

# Diseñando un Robot Caminante de Seis Patas

Efren Gorrostieta<sup>1</sup>, Calixto Morales<sup>2</sup>, Julio Solano<sup>3</sup>, Emilio Vargas<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Querétaro  
Av. Tecnológico esq. Escobedo  
CP 76000 Querétaro, Qro

<sup>2</sup>Centro de Investigación y Desarrollo  
Tecnológico en Electroquímica  
Parque Tecnológico Querétaro  
Sanfandila, P. Escobedo, Qro.

<sup>3</sup>Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial  
Av. Pie de la Cuesta No. 702  
Col. Desarrollo San Pablo  
CP 76130 Querétaro, Qro.

<sup>4</sup>Instituto Tecnológico y de Estudios  
Superiores de Monterrey Campus Querétaro  
Epigmenio González No.500, San Pablo  
CP 76130 Querétaro, Qro.

## Resumen

*En este artículo mostramos en forma resumida el trabajo relacionado con el diseño de un robot caminante de seis patas denominado: ROSEP-1 (**RO**bot de **SE**is **P**atas). Se describe la forma en que se determinó la configuración del robot, así como el modelo cinemático asociado a la posición del cuerpo del robot y a sus patas. Así mismo, el artículo describe la arquitectura del sistema de control para una pata, y los elementos principales de dicho sistema. El trabajo finaliza con una descripción breve de algunas formas de locomoción existentes para este tipo de robot, así como una serie de propuestas de investigación que esperamos llevar a cabo con el prototipo.*

**Palabras clave:** Diseño mecánico de robots, robots con patas, Robot caminante.

## 1. Introducción

Recientemente las investigaciones en robótica se enfocan hacia el desarrollo de máquinas caminantes, debido a que en algunas aplicaciones se requiere de una considerable movilidad, sobre todo cuando se tiene la necesidad de locomoción en terrenos irregulares. Los robots con patas permiten una coordinación de movimientos para aislar las irregularidades del terreno. Así mismo, se busca desarrollar máquinas que requieran poca

intervención humana ó la disminución de algunas restricciones no deseadas en las mismas [1].

Es por eso que en algunos casos el proceso para el diseño de un robot (p. e. longitud de la pierna o pata, localidad de la masa, tamaño y otros parámetros estructurales) ha sido delegado hacia la imitación de estructuras del ambiente natural, especialmente para máquinas caminantes donde las estructuras presentan poca simplicidad pero un amplio margen de adaptabilidad.

Por esta razón, algunos diseñadores de robots caminantes tratan de imitar las criaturas de la naturaleza que tienen múltiples patas, con lo que se trata de hacer una mejor aproximación a ellas,. Como un ejemplo esta la hormiga, que es un insecto con seis patas (hexapodos) o cualquier otro animal viviente. Las investigaciones de este campo buscan copiar la manera del como lo natural ha generado seres con mejores perspectivas, interesantes y prometedores para su imitación en algún o algunos puntos específicos de su proceso natural de evolución.

Si podemos imitar el motor para generar un ser caminante, entonces podemos encontrar soluciones prácticas para escenarios, donde la geometría de las patas es un aspecto crucial del diseño e influye fuertemente en la eficiencia del robot [2] y con lo cual, se realiza un estudio de los puntos físicos importantes para el conocimiento de una locomoción real.

Algunas de las aplicaciones más interesantes de robots autónomos móviles son las

que requieren una complejidad alta de la cinemática del robot. Ejemplos son la exploración de planetas remotos, la inspección de terreno áspero, áreas destruidas o contaminadas, etc. De cualquier modo, la complejidad en el diseño del robot requiere métodos de control específicos en su sistema.

En este trabajo se presenta el diseño de un robot caminante de seis patas, así como la experiencia lograda en el diseño y la arquitectura de control, de forma que los movimientos del robot a través de los dieciocho grados de libertad del robot nos permita lograr el balance requerido por la máquina, así como el movimiento para alcanzar las posiciones que se requiere en sus patas.

Cada pata consta de tres grados de libertad, los cuales son accionados por motores de 12 VDC, lo que nos llevo a diseñar un sistema de control redundante para los 18 motores que se utilizarán en el robot. El sistema de control se ha diseñado considerando 3 niveles de mando: 1) Generador de Movimientos, 2) Generador de trayectorias y 3) Controlador de posición. Todos los niveles serán comunicados vía paralela.

## 2. Configuración del robot

Uno de los sistemas más perfectos que se conocen en la locomoción y configuración de máquinas caminantes lo podemos observar en la naturaleza por ejemplo, en la anatomía y la fisiología de los animales. Así es que mucho de los diseños de robots caminantes que se han fabricado en la actualidad, se basan conceptualmente en los insectos.



Fig. 1 Vista superior de una hormiga

Para la configuración y diseño del robot caminante de seis patas que se describe en este trabajo, por diseño se ha considerado imitar algunas de las características que presenta la anatomía de las hormigas Fig. 1.

La hormiga es un insecto que cuenta con seis extremidades, Esta distribución fue adoptada por la particular configuración que presentan estos insectos, los cuales se desplazan en un medio ambiente robusto, así como la capacidad de carga que presentan [3].

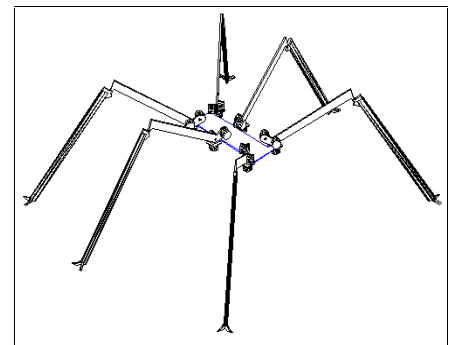
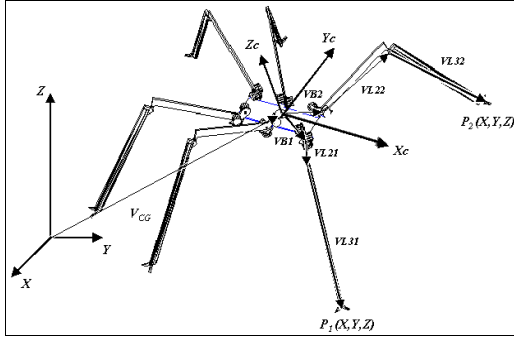


Fig. 2 Configuración del robot ROSEP-1.

El reproducir la configuración de la hormiga nos llevará a entender la seguridad en funcionalidad que ésta ha tenido gracias a los miles de años de evolución de este tipo de insecto, lo cual nos hace prever que las ventajas de robots diseñados bajo esta consideración tendrán mayor capacidad de carga con respecto a otros diseños, Fig. 2.

## 3. Modelo Cinemático

El modelo cinemático del ROSEP-I se basa en las ecuaciones que determinan la posición y la orientación del cuerpo, tomando en cuenta la posición final que adoptan las patas sobre un terreno irregular, así como la inherente redundancia del complejo sistema mecánico articulado formado por los dieciocho grados de libertad que permiten dirigir la orientación del robot. La siguiente figura muestra las relaciones vectoriales de las posiciones de las patas con respecto al cuerpo del robot y a un sistema de referencia inercial colocado fuera del cuerpo del robot.



**Fig.3 Relaciones vectoriales del robot**

La ecuación simplificada que determina la posición de la i-esima pata puede ser expresada como:

$$\vec{V}_{P_i} = \vec{V}_{CG} + \vec{V}_{B_i} + \vec{V}_{L_{2i}} + \vec{V}_{L_{3i}} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{P_i}$$

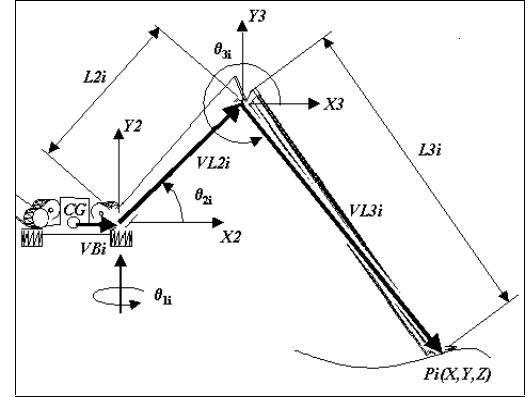
Donde  $V_{P_i}$  representa al vector de posición de la i-ésima pata,  $V_{CG}$  es el vector de posición del centro de gravedad del cuerpo del robot con respecto al sistema de referencia inercial,  $V_{B_i}$  es el vector de posición de la base de la i-ésima pata medido a partir del centro de gravedad del cuerpo del robot,  $V_{L_{2i}}$  es el vector de posición para la segunda articulación en la i-ésima pata, y  $V_{L_{3i}}$  es el vector de posición para el tercer grado de libertad de la i-ésima pata del robot.

#### 4. Mecanismo de las Patas

Como se ha mencionado anteriormente las patas del robot presentan tres grados de libertad de tipo rotacional, logrando con esto un diseño que hace prever que el robot se pueda adaptar a las irregularidades que presenten diferentes tipos de terreno. El modelo cinemático del robot para cada pata se basa en la parametrización que se muestra en la siguiente figura:

La i-ésima posición de la pata del robot esta dada por la siguiente ecuación:

$$\begin{bmatrix} (L_{2i} \cos \theta_{2i} + L_{3i} \cos \theta_{3i}) \cos \theta_{1i} \\ (L_{2i} \cos \theta_{2i} + L_{3i} \cos \theta_{3i}) \sin \theta_{1i} \\ L_{2i} \sin \theta_{2i} + L_{3i} \sin \theta_{3i} \end{bmatrix} = \vec{V}_{L_{2i}} + \vec{V}_{L_{3i}}$$



**Fig.4 Parámetros de la pata del robot**

La orientación del cuerpo del robot se controla a partir de las ecuaciones redundantes de la posición que adoptan las patas durante la locomoción del robot [4]. De esta forma, el control de dicha orientación del cuerpo es posible lograrlo mediante el movimiento coordinado de las patas que conforman las cadenas cinemáticas cerradas para cada una de las patas que están apoyadas sobre el terreno

#### 5. Sistema de Control

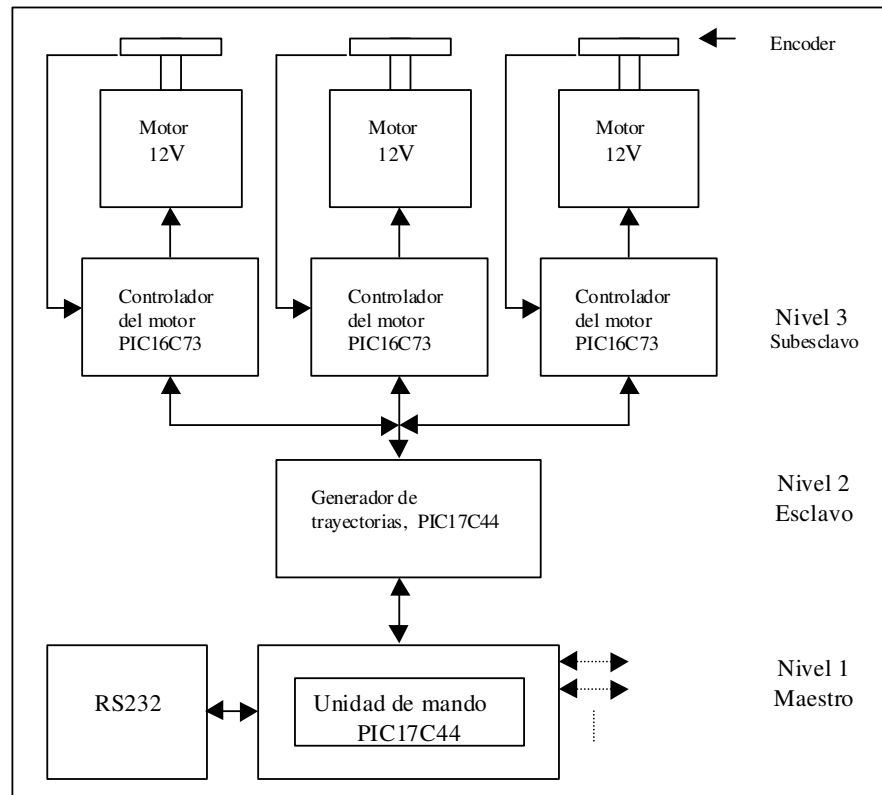
Las hormigas son insectos de gran destreza y fortaleza, por ejemplo si llegasen a perder alguna de sus extremidades o parte de ellas la hormiga puede seguir en movimiento y sobrevivir. Pensando en esto el robot propuesto esta compuesto de un sistema digital que contempla circuitos independientes para cada extremidad y a la vez independientes de cada parte de la misma, tratando con esto de reproducir el sistema motriz de la hormiga que por otra parte solo tiene dependencia de una unidad central que se encarga de coordinar sus movimientos y otras funciones.

Entonces el robot cuenta con una arquitectura digital con la cual pueda sobrevivir a pérdidas parciales de sus extremidades. Además posee una unidad central de procesamiento la cual también coordina el sistema motriz .

Los microprocesadores y microcontroladores permiten controlar maquinas que poseen patas. Los experimentos realizados con tales ingenios nos han traído un mejor conocimiento de la dinámica de la marcha animal. Para dar el

movimiento de las extremidades del robot caminante del presente proyecto se tienen dispuestos 3 motores de DC por cada una, y cada motor es controlado por un microcontrolador de Micro chip de 8bits, el PIC16C73 el cual posee características tales como: 4 canales A/D, velocidad de operación de 20 MHz, 2 salidas de PWM sintético, entre otras; lo cual lo hace de gran utilidad para esta aplicación y sobre el cual se

pueden programar algoritmos tipo PID, lógica difusa o redes neuronales soportado por otros periféricos de retroalimentación como switches limitadores de posición, encoders para medir la posición exacta de cada pata y a la vez la posición del robot, así como sensores de corriente. De esta forma, se pretende implantar un sistema que nos permita controlar posición, velocidad y fuerza.



**Fig.5 Arquitectura del sistema de control para una pata del robot.**

Siguiendo con la arquitectura del robot se cuenta con un generador de trayectorias por cada pata, capaz de simular los diferentes tipos de movimientos y formas de caminar que poseen los insectos de 6 patas, que descrito por el microcontrolador PIC17C44 de mayor capacidad que calcula y destina las trayectorias a seguir de cada extremidad y ordena a cada PIC16C73 cuando y como actuar.

Para la unidad central de mando se designó otro PIC17C44 el cual ordena a los generadores de trayectorias hacia donde y como el robot se moverá; en un sistema maestro-esclavo y subesclavo.

También se pueden implementar en esta unidad de procesamiento la lectura de diferentes tipos de sensores para detección de obstáculos u otras tareas.

Esta unidad cuenta por otro lado con un protocolo de comunicación RS-232 para comunicarse con una PC y desde ahí programar al robot, haciendo un sistema muy flexible sobre el cual pueden realizarse un sin número de experimentos.

## 6. Formas de locomoción.

Resulta particularmente interesante controlar la estabilidad de un robot caminante

debido a la complejidad que involucra evitar que el cuerpo del robot se caiga. Diversas investigaciones muestran algoritmos eficientes para controlar la estabilidad de un robot con seis patas, cuando este se desplaza sobre terreno plano alternando trípodes que sustentan al cuerpo de forma cíclica y periódica [4] y [5], ver Fig. 6.

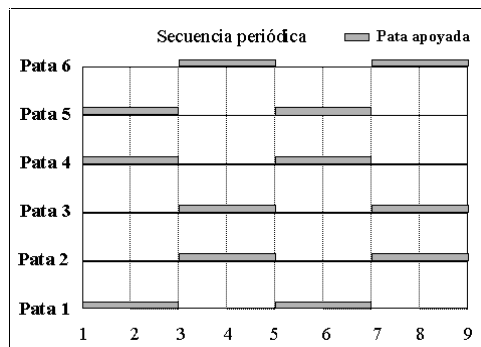


Fig.6 Secuencia ondulatoria de tipo periódica

Sin embargo, trabajos recientes sobre la locomoción libre hacen prever una mayor eficiencia en el desplazamiento de este tipo de máquinas [7] y [8].

En este sentido, aprovechando la experiencia que se ha logrado en proyectos similares de robots caminantes [9], se está desarrollando un programa computacional en lenguaje C que nos permitirá simular la locomoción libre, las interferencias en las patas, así como la estabilidad del robot, principalmente.

### 7. Conclusiones

En este trabajo se han presentado las definiciones que dieron origen al diseño del robot ROSEP-I, así como la justificación de la configuración adoptada. También se mostró una descripción breve de la cinemática del cuerpo, y la pata del robot, así como los elementos que integran el sistema de control.

En este momento nos encontramos desarrollando un simulador en 3D que nos permitirá evaluar la mecánica asociada al robot, sus interferencias y los algoritmos de locomoción libre que estamos investigando. Los resultados obtenidos nos permitirán una definición más clara para

fabricar el prototipo de robot y su sistema de control.

Por otro lado también se intentará reproducir el funcionamiento orgánico de los seres vivos como lo son los reflejos y algunos algoritmos de supervivencia, tales como evitar chocar contra algún objeto, otro sería por ejemplo si el robot introduce una de sus patas en un terreno muy caliente éste tenga la capacidad de moverse hacia otro tipo de lugar adonde no se encuentre en esta situación peligrosa.

### 8. Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Guillermo Rodríguez Vilomara, Director de la Unidad de Posgrado del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), las facilidades otorgadas para enmarcar esta investigación dentro del Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (PICYT) y al Dr. Edgardo Pérez Hermosillo, Director el Departamento de Ingeniería Mecánica e Industrial, en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Querétaro, por las facilidades otorgadas a dicho proyecto.

### 9. Referencias

- [1] Kumar V. and Waldron K., *A Review of Research on Walking Vehicles*, The Robotics Review 1, Ed. Khatib, Craig and T. Lozano-Pérez, The MIT Press, 1989.
- [2] Song, Vohnout, Waldron and Kinzel, *Computer-Aided Design of a Leg for an Energy Efficient Walking Machine*, Mechanism and Machine Theory Vol. 19, no. 1, pp 17-24, 1984.
- [3] Taber, Stephen W., *The World of the Harvester Ants*, W.L. moody natural history series:23, College Station, Tx., Texas A. & University, 1998.
- [4] Kumar V., Gardner J., *Kinematics of Redundantly Actuated Closed Chains*, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.6, No.2, April 1990.
- [5] Raibert M. & Sutherland, *Máquinas que Caminan*, Investigación y Ciencia, Marzo 1983.

**[6] Pugh D., Robble E., Vohnout V., Bihari T., Walliser T., Oetterson M. & Waldron K.,** *Technical Description of the Adaptive Suspension Vehicle*, MIT, Vol 9, No.2, April 1990.

**[7] Vargas E.,** *A New Real-Time Control Method for Free Locomotion in a Walking Robot*, Int.

Journal of Computer Application in Technology, Vol.11, Nos.1/2, 1998.

**[8] Arkin R.,** *Behavior-Based Robotics*, The MIT Press, 1998.

**[9] Vargas E.,** *Free Locomotion Gaits for a Four Legged Machine*, Memorias del 1er.Congreso de Robótica, Torreón, Coahulia, México 1999.