

Robótica móvil

Diseño e implementación de un robot móvil hexápodo

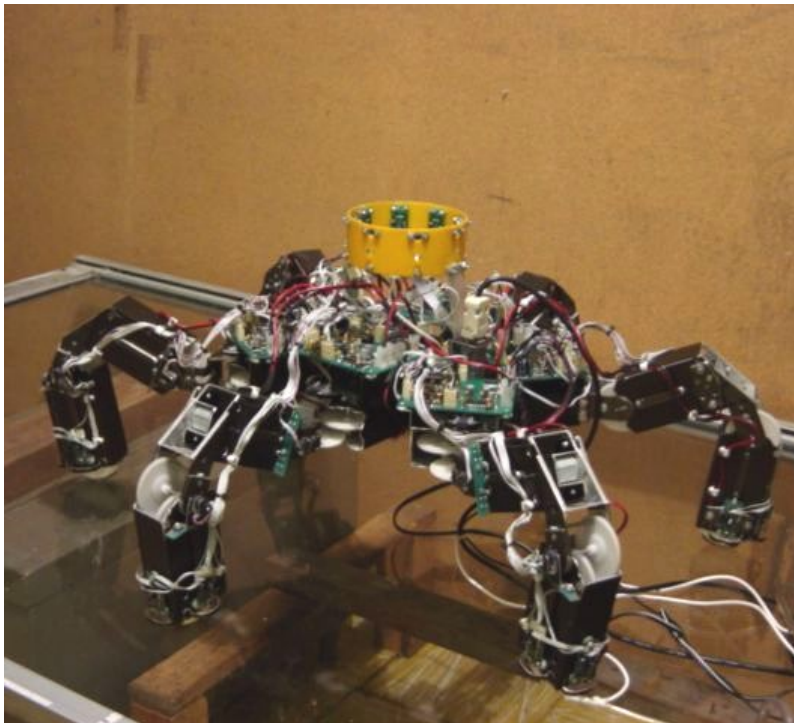


Fig. 1. Aspecto final del robot Tenebrio.

□ Alejandro Arango
Saavedra, Ing.
Universidad del Valle,
Colombia.

□ Héctor Fabio Satizábal
Mejía, Ing. Universidad
del Valle, Colombia.

□ Humberto Loaiza Correa,
Ph. D. Universidad del
Valle, Colombia.

*Grupo de Percepción y
Sistemas Inteligentes PSI.
Universidad del Valle.
Colombia.*

RESUMEN

Tenebrio es un robot caminador hexápodo totalmente diseñado e implementado como proyecto de último año de ingeniería electrónica en la Universidad del Valle. Cuenta con un sistema multiprocesador capaz de caminar en cualquier dirección usando seis patas articuladas inteligentes. Puede controlar su inclinación con respecto a la gravedad en dos ejes, y detectar obstáculos en su trayectoria mediante sensores de proximidad, con el fin de evadirlos o caminar sobre ellos satisfactoriamente. El robot dispone de varios modos de caminado que le permiten adaptarse a las condiciones del terreno.

PALABRAS CLAVE

Robótica móvil, cinemática, sistema multiprocesador, integración sensorial, detección de obstáculos, evasión de obstáculos.

ABSTRACT

Tenebrio is a hexapod walking robot designed and implemented as a senior project in Electronics Engineering at Universidad del Valle. It is a multiprocessor system capable of walking in any direction using six articulated intelligent legs. It can control its inclination in both

axes with respect to gravity, and detect potential obstacle within its trajectory, in order to avoid them or to traverse through them satisfactorily. Numerous gait patterns and characteristics are available.

KEYWORDS

Mobile robotics, robot kinematics, multiprocessing systems, simulators, sensor fusion, obstacle detection, obstacle avoidance.

1. INTRODUCCIÓN

Los robots caminadores tienen varias posibles aplicaciones, basadas en general, en su adaptabilidad cuando se desplazan por terreno irregular. Estas aplicaciones incluyen exploración, aplicaciones militares, inspección y mantenimiento industrial, entre otras.

Actualmente, los robots móviles utilizan mecanismos de locomoción que se pueden apreciar desde diferentes enfoques:

- Enfoque biológico: busca concebir un sistema locomotor basado en características propias de organismos vivos, aprovechando las ventajas que estas puedan tener en determinado caso. Un ejemplo de esto lo constituyen el trabajo de Kingsley [9] en cockroach-like robots (2003), Fielding [5] en el robot Hamlet, Tenebrio e incluso el trabajo de Espenschied [3] (1994).
- Enfoque aplicativo: trata de encontrar una solución efectiva, tratando de optimizar algún aspecto del diseño. Este enfoque es más común en aplicaciones industriales y comerciales. Algunos ejemplos son los desarrollos de la Nasa en exploración planetaria, Bares [1] con el robot Dante II (1999), y la maquina caminante adelantada por Plustech [10], la cual se adapta satisfactoriamente al terreno selvático.
- Enfoque innovativo: Este enfoque está orientado a la investigación, trata de enriquecer las estrategias de locomoción explorando métodos poco convencionales, como las ideas sobre robots saltadores pendulares en

Chandana [2] (2002) y las investigaciones de Ringrose [12] (1996). Este enfoque puede conducir a mejores soluciones, Quinn [11] (2001) y Eastier [4] (2000).

Como resultado de los diferentes enfoques, en la actualidad existe una gran cantidad de aplicaciones robóticas móviles, que pueden agruparse de acuerdo con el tipo de mecanismo de locomoción que utilizan:

- Ruedas: La rueda es un método altamente probado y muy eficiente en superficies homogéneas poco inclinadas. Su aplicación en un robot es producto del enfoque aplicativo antes descrito.
- Patas: Estas son, evidentemente, un mecanismo producto del enfoque biológico. Sus ventajas, entre otras, son la adaptabilidad al terreno y la posibilidad de omnidireccionalidad. Se encuentran robots de una pata hasta ocho patas en aplicaciones industriales (máquina caminante de Plustech [10]), comerciales (robot Aibo de Sony [13] y el robot bípedo de Honda Asimo [8]) y exploratorias (Bares [1] con el robot Dante II), entre otras.
- Híbridos: Algunos métodos utilizan combinaciones entre ruedas y patas como las whogs de Quinn [11] (2001) y el robot Shrimp de Eastier [4]. Otros son adaptaciones que han resultado convenientes para algún tipo de terreno o alguna aplicación, como el robot saltador para exploración planetaria de Fiorini [6].

Este trabajo no apunta a una aplicación particular, trata de establecer una plataforma móvil que pueda ser usada en desarrollos posteriores en robótica móvil. Por esta razón, no se implementa un planificador de tareas de alto nivel cognitivo, pero se provee al diseñador y desarrollador del planificador un conjunto de servicios a través de una interfaz amigable.

Inicialmente fue inspirado en el insecto *Tenebrio Molitor* (de ahí el nombre Tenebrio), debido a su comprobada destreza y adaptabilidad a terreno irregular y al hecho de que sus seis patas ofrecen la posibilidad de caminar usando trípodos estáticamente estables.

Enseguida, se muestra una breve descripción del diseño. El robot presenta una arquitectura dividida en hardware y software que se explican en las siguientes dos secciones. Seguidamente se presentan las simulaciones de algoritmos de caminado, navegación y el software simulador; continuando con las pruebas realizadas y sus resultados. Finalmente, se discuten las posibles perspectivas de trabajo y las conclusiones generales del proyecto.

2. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

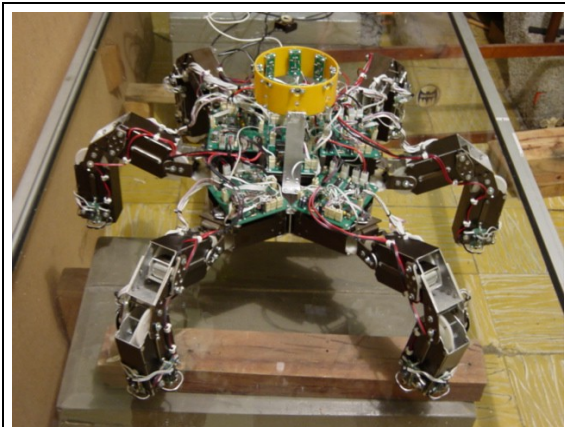


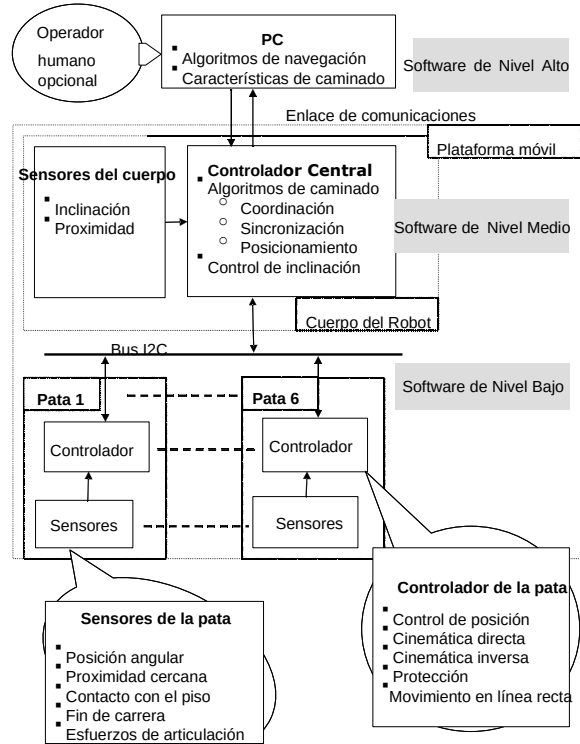
Fig. 2. Robot apoyado en una mesa de vidrio.

La figura 2 muestra una fotografía de Tenebrio, y la figura 3 condensa la estructura funcional general de la plataforma robótica, la cual está dividida en tres niveles: *nivel alto*, donde se implementan los algoritmos de navegación; *nivel medio*, que resuelve la cinemática del robot y *nivel bajo*, en el que se implementa el control de las patas.

Algunas de las decisiones respecto a la selección del hardware fueron guiadas por limitaciones económicas dadas las restricciones de diseño de bajo costo. Ya que el robot tiene seis extremidades, con un total de 18 grados de libertad, las variaciones en

esta parte el diseño hardware (como la selección de los actuadores) pueden acarrear un significativo impacto en el presupuesto.

Fig. 3. Diagrama funcional general del sistema



La plataforma permite la implementación de algoritmos de alto nivel cognitivo, detección de obstáculos y el ajuste de diferentes características de caminado: altura, inclinación lateral, inclinación frontal, rotación por paso, longitud del paso, dirección del paso, altura a la que se levanta cada pata en el caminado, coordenadas de la posición centrada de cada pata y patrón de caminado.

3. ARQUITECTURA HARDWARE

La parte mecánica de la plataforma móvil incluye un chasis rígido para soporte y unión, y seis patas, cada una con tres grados de libertad rotacionales (ver fig. 4 y fig. 5). Cada grado de libertad es actuado independientemente por un motor, en total dieciocho motores eléctricos de corriente continua.

Cada pata está equipada con un *sistema de control de posición*, sensores para medición de posición angular de cada articulación (potenciómetros), medidor de esfuerzo de la articulación (corriente en cada motor), y tres sensores infrarrojos de proximidad de corto rango (ver disposición en fig. 6).

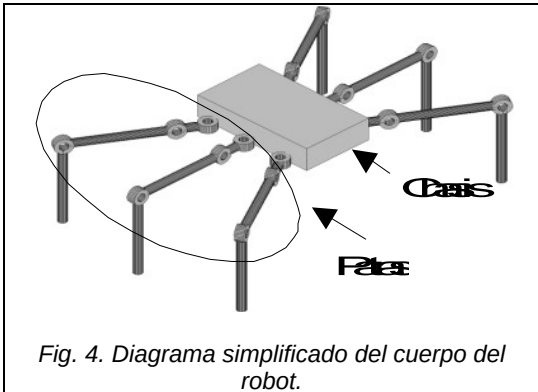


Fig. 4. Diagrama simplificado del cuerpo del robot.

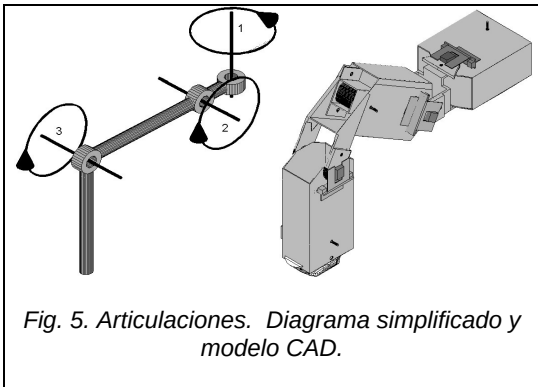


Fig. 5. Articulaciones. Diagrama simplificado y modelo CAD.

El sistema de control de posicionamiento actúa de acuerdo con los requerimientos del sistema de planeación central (ver fig. 3), el cual genera, desde el *nivel medio*, la secuencia de movimientos coordinados necesaria para llevar a cabo el patrón de caminado seleccionado, adaptándose activamente al terreno y controlando la inclinación con la ayuda de un acelerómetro (Analog Devices ADXL202AE) usado como sensor de inclinación de dos ejes.

Además, el robot cuenta con sensores externos, los cuales son sensores infrarrojos de proximidad de medio rango, localizados en forma de corona centrada apuntando hacia la periferia del cuerpo, y un sensor de contacto

al final de cada extremidad que sirve para determinar cuando esta está apoyada.

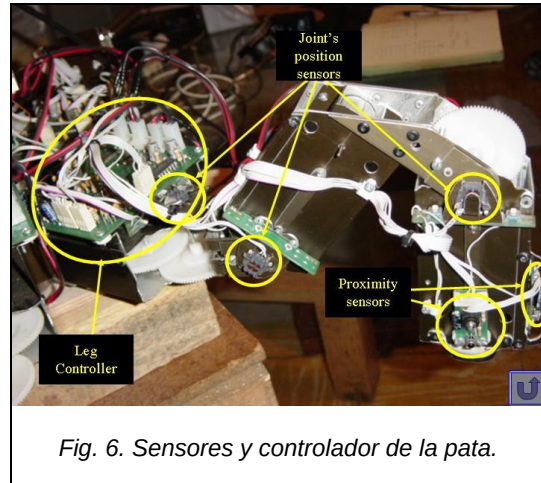


Fig. 6. Sensores y controlador de la pata.

El *nivel alto* de esta arquitectura funcional puede ser materializado por un operador humano o con un computador que envíe instrucciones de navegación y características de caminado, usando realimentación de los *nivel bajo* y del *nivel medio*.

El robot pesa aproximadamente 4,75 Kg, su longitud oscila entre 50 y 75 cm; su ancho puede establecerse entre 25 y 40 cm y su altura al suelo puede variar desde 0 hasta 20 cm. La longitud de los elementos de las patas es 13 cm. Está alimentado con una batería de 6 V con una capacidad de 4 Ah para el suministro de potencia a los motores y una batería de 9V para la electrónica de sensado y control. El consumo de corriente oscila entre 100 mA y 4 A.

4. ARQUITECTURA SOFTWARE

El software del robot está distribuido física y funcionalmente en tres niveles jerárquicos (ver fig. 7).

El **software de alto nivel** comprende el planeador de tareas, y lleva a cabo funciones cognitivas. Está físicamente implementado en un PC y puede recibir opcionalmente ordenes directas de un operador humano.

El **software de nivel medio** comprende los algoritmos centrales del robot, y está físicamente implementado en el controlador

central (basado en el microcontrolador Microchip PIC18F252). Este contiene los algoritmos de coordinación de las patas y determina la posición final de cada una de ellas en sus respectivas coordenadas locales (usando un modelo de cuerpo rígido). Utiliza las señales de detección de obstáculos y la información de la inclinación para modificar los movimientos del patrón de caminado normal y tratar de cumplir las macroinstrucciones enviadas por el software de nivel cognitivo superior.

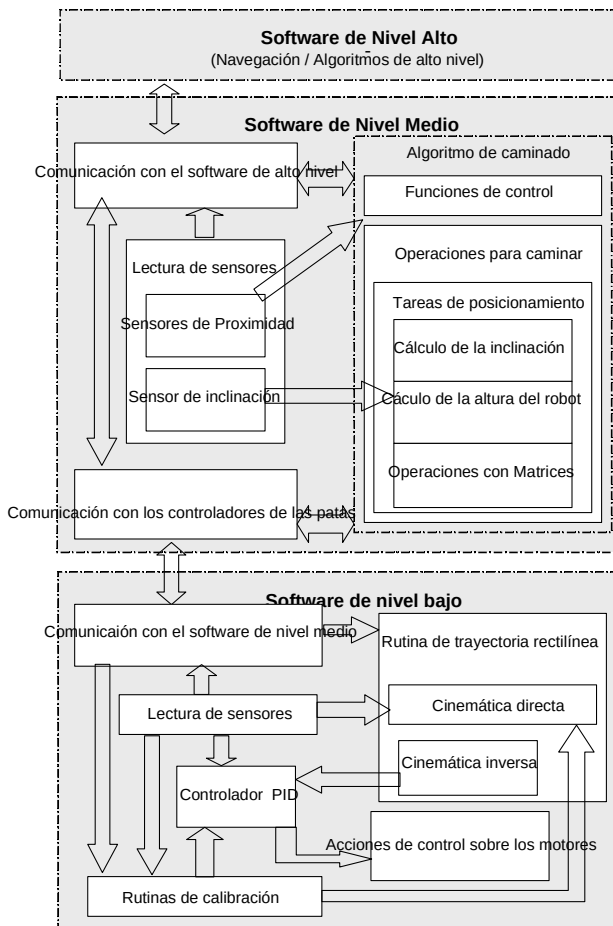


Fig. 7. Jerarquía software.

El **software de bajo nivel** está localizado en cada pata. Está físicamente implementado en el microcontrolador PIC16F873. Se encarga de ejecutar ordenes que provienen de los niveles superiores, como posicionamiento del efector final de la pata, lectura de sensores y parada de emergencia. Este nivel lleva a cabo los cálculos de la cinemática inversa (Fu [7], 1978) con el fin de determinar los ángulos de articulación, y cuenta con un controlador

digital PID ligeramente modificado para operar los motores. Los parámetros del PID varían de acuerdo con el tipo de movimiento que se lleva a cabo (levantar o adelantar) para regular el nivel de torque y responder dinámicamente a los cambios de corriente.

5. SIMULACIONES

Paralelo al desarrollo del robot Tenebrio, se desarrolló un software simulador para facilitar y acelerar la concepción de algoritmos de caminado, posicionamiento de las patas y navegación.

El simulador muestra una gráfica tridimensional de un hexápodo y un ambiente estático fácilmente configurable con el que el robot interactúa. Además, provee un lenguaje de alto nivel, con su editor, para experimentar con algoritmos de navegación personalizados. Después de la simulación, estos algoritmos pueden descargarse en el nivel alto de la arquitectura y ejecutarse en el robot real.

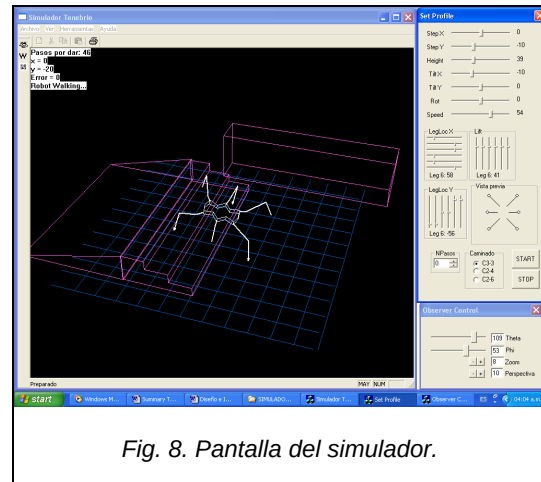


Fig. 8. Pantalla del simulador.

Todas las interacciones sensoriales son simuladas (excepto el esfuerzo en las articulaciones), y los obstáculos se consideran rígidos e impenetrables. Una imagen del simulador en funcionamiento es mostrada en la fig. 8.

6. PRUEBAS

Antes de realizar pruebas sobre el robot completo, se realizaron ensayos sobre las articulaciones y patas individuales para garantizar la capacidad de sostener el cuerpo

del robot en posición estable incluyendo un margen de seguridad. El robot no fue concebido para soportar pesadas cargas.

Las pruebas de caminado se realizaron sobre superficies planas e inclinadas hasta 30° obteniéndose un velocidad de desplazamiento de 1 cm/s aproximadamente. Se probó la omnidireccionalidad del robot en ambientes sin obstáculos y se verificó la capacidad de conservar la inclinación y la longitud del paso tanto en rotación como en desplazamiento rectilíneo.

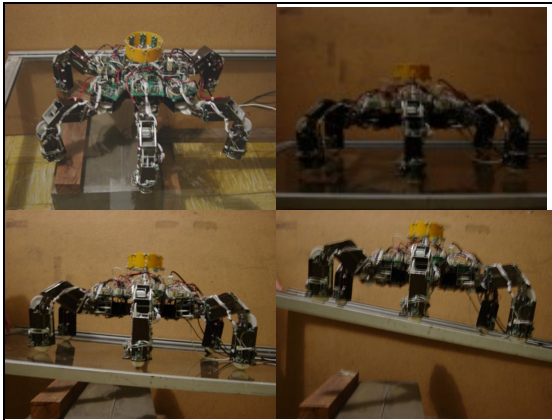


Fig. 9. Tenebrio manteniendo la horizontalidad

Se exploraron varias técnicas de caminado, como por ejemplo, en trípode, emulando un cuadrúpedo, levantando una, dos y tres patas al tiempo y avanzando el cuerpo sobre las seis patas.

Se validó la capacidad de la plataforma móvil para controlar la inclinación con respecto a la gravedad ante variaciones de las características de caminado y cambios dinámicos del entorno (ver fig. 9). Debido a la naturaleza del sensor de inclinación (un acelerómetro), el robot reajusta su inclinación cuando el plano de apoyo sufre solo un desplazamiento acelerado.

El software de control de las patas fue ajustado para permitir la homogeneización semi-pasiva del esfuerzo de estas y así eliminar la oscilación que se presentaba cuando alguna recibía una presión excesiva que vencía las condiciones de frenado cuando el robot se encontraba estático.

7. PERSPECTIVAS DE TRABAJO

El vértice de los futuros trabajos en esta plataforma robótica móvil se centra en la autonomía la cual se puede atacar desde diferentes flancos:

- Capacidad sensorial: Adicionar algunos sensores permitiría enriquecer la inteligencia del robot aumentando sus entradas para toma de decisiones. Entre los posibles sensores se tiene una brújula para realimentación de la orientación y un sistema de cámaras o visión ultrasónica que permitan estimar la posición global.
- Autonomía de la movilidad: las capacidades de libre movimiento se incrementarían aumentando la fuerza de las extremidades dando así la posibilidad de que el robot pueda cargar su batería para la alimentación de los motores. La movilidad también se mejora estableciendo un enlace de comunicación inalámbrico entre el robot y el procesador externo de alto nivel.
- Autonomía de procesamiento: La implementación de una circuitería embebida que aloje el software alto nivel independiza la plataforma móvil de un procesador externo.

8. CONCLUSIONES

Se implementó una plataforma robótica caminante usando seis patas articuladas inteligentes. Cada pata cuenta con sensores de posición angular absolutos, sensores de esfuerzo, contacto y proximidad. El robot tiene una estructura modular distribuida controlada por múltiples procesadores y cuenta con un sensor de inclinación y sensores de proximidad para la detección de obstáculos.

La plataforma puede desplazarse en cualquier dirección con varios patrones y características de caminado, controla activamente su inclinación con respecto a la gravedad, y detecta la presencia de obstáculos potenciales en su trayectoria de caminado.

Se proveyó una interfaz amigable para la implementación de algoritmos de alto nivel (como decisiones de navegación e inteligencia

para evasión de obstáculos), incluyendo un simulador para la experimentación. La puerta queda abierta para la implementación embebida.

El sistema robótico multiprocesador resultante es modular, flexible integrado en una estructura jerárquica funcional.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bares, J. and D. Wettergreen (1999). Dante II: Technical Description, Results and Lessons Learned. *International Journal of Robotics Research*. Vol. 18, No. 7, pp. 621-649.
http://www.ri.cmu.edu/projects/project_163.html
- [2] Chandana, Paul, D. Raja and Iida Fumiya (2002). Design and control of a pendulum driven hopping robot. *Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems 2002 (IROS 02)*. Zurich, Switzerland.
- [3] Espenschied, K.S. and R.D. Quinn (1994). Biologically-Inspired Hexapod Robot Design and Simulation. *AIAA Conference on Intelligent Robots in Field*. Houston, Texas.
- [4] Eastier, T., Y. Crausaz, B. Merminod, M. Lauria, R. Piguet and R. Siegwart (2000). An innovative Space Rover with Extended Climbing Abilities. *Proceedings of Space and Robotics 2000*. Albuquerque, USA.
<http://dmtwww.epfl.ch/isr/asl/systems/shrimp.html>
- [5] Fielding, M.R., R. Dunlop and C.J. Damaren (2001). Hamlet: Force/Position Controlled Hexapod Walker - Design and Systems. Presented at: *IEEE CCA*. Mexico City.
- [6] Fiorini, P., S. Hayati, M. Heverly, and J. Gensler. A Hopping Robot for Planetary Exploration. *Jet Propulsion Laboratory. California Institute of Technology*. Pasadena, California.
- [7] Fu, KS and Lee González (1987). *Robotics: Control, Sensing, Vision, And Intelligence*. McGraw-Hill, Inc. New York, USA.
- [8] Honda. ASIMO biped robot.
<http://world.honda.com/ASIMO>
- [9] Kingsley, D. A., R.D. Quinn and R.E. Ritzmann (2003). A Cockroach Inspired Robot With Artificial Muscles. *International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM 2003)*. Kyoto, Japan.

<http://biorobots.cwru.edu/publications/publicat.htm>

[10] Plustech. Walking Machine.

<http://www.plustech.fi>

[11] Quinn, R.D., G.M. Nelson, R.J. Bachmann, D.A. Kingsley, J. Offi and R.E. Ritzmann (2001). Insect Designs for Improved Robot Mobility. In: *Proc. of Climbing and Walking Robots Conference (CLAWAR01)*. Professional Engineering Publications (Berns and D. Karlsruhe, Ed.). pp. 69-76. Germany.
<http://biorobots.cwru.edu/projects/whegs>

[12] Ringrose, R. (1996). Self-Stabilizing Running. *Proceedings of ICRA'97*, Albuquerque.

[13] Sony. Aibo robot. <http://www.aibo.com>

AUTORES



Alejandro Saavedra. Ingeniero electrónico de la universidad del Valle 2003.



Héctor Fabio Satizábal Mejía. Ingeniero Electrónico de la universidad del Valle 2003.



Humberto Loaiza Correa, Ingeniero Electricista (1991) y M.Sc.en Automática (1994) de la Universidad del Valle. Ph.D. en Robótica de la Université d'Evry, Francia (1999). Profesor titular de la universidad del Valle. Áreas de investigación en robótica móvil, visión artificial, procesamiento de imágenes y señales.