

# ALGORITMO DE LOCOMOCIÓN LIBRE EN UN ROBOT HEXAPODO

Gorrostieta Efrén , Vargas Emilio

Instituto Tecnológico de Querétaro Av. Tecnológico esq. Escobedo C.P 76150 Santiago de Querétaro ,Qro. México.  
efren.hurtado@ usa.net

Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Pie de la Cuesta 702, Col. San Pablo, C.P. 76130 Querétaro, Qro. México.  
emilio@ mecatronica.net

**Abstract**—En el presente trabajo se presenta el desarrollo de un algoritmo para la ejecución de los movimientos en un robot caminante de seis patas. Se propone una forma distinta a este problema conocido como la locomoción de robots, la solución más común de locomoción es la denominada locomoción fija, el planeamiento de la locomoción en esta investigación se genera mediante movimientos no establecido contrariamente al caso de la fija, es decir una locomoción libre. Estos algoritmos están basados en lógica difusa, cuidando que en cada uno de los desplazamientos del robot que el robot realice, este no caída o presente problemas de estabilidad en el desplazamiento.

**Palabras Claves** —Robot caminante, locomoción fija, locomoción libre, lógica difusa.

## I. INTRODUCCIÓN

EL navegador de los sistemas que integran el control de robot cuenta con varios niveles uno de ellos es el que se encarga de la locomoción del robot. En el caso de los robots caminantes este sistema llamado de locomoción se puede volver complicado dependiendo de el número de patas y la configuración del robot que se desea desplazar por una superficie.



Figura. 1. Configuración de Robot Hexápodo

En la figura 1 podemos observar la configuración del robot caminante de seis patas en donde se utilizaran los algoritmos propuesto en este trabajo. La distribución del robot y sus características se realizaron a imitación de las hormigas. La locomoción de los robots se realiza también por una imitación natural de mucho de los seres vivientes

## II. LOCOMOCIÓN LIBRE DE ROBOTS CAMINATES

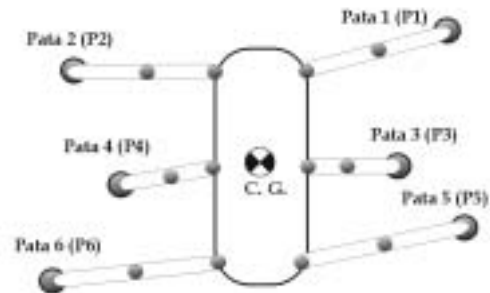


Figura 2 Configuración del Robot Hexápodo.

La forma mas común de hacer mover un robot caminante es mediante la locomoción fija, estas consiste en un cierto tipo de movimientos establecidos y repetitivos, donde los parámetros y variables del sistemas de locomoción son totalmente regulares y determinado previamente, estos siguen un patrón establecido. En el caso de los robot caminantes de seis patas los algoritmos de locomoción fija consisten en mantener en la superficie del terreno donde se desplaza el robot tres patas alternadas de tal forma que se pueda formar una especial de soporte en estas tres patas cada vez que el robot se desplaza .

En la figura 2 se muestra la nomenclatura que se usara para determinar cada una de las patas de robot en lo sucesivo, en esta figura se muestra una vista de planta del robot, uno de los parámetros importantes será la ubicación del centro de gravedad denotado como C.G como se puede ver en la figura.

Para ilustrar la locomoción fija se utiliza una diagrama representativo de los pasos efectuados por el robot, estos diagramas fueron utilizado por primera vez por Hilderbrand [1] para recordar los pasos obtenidos en las fotografías de algunos de los animales analizados. En estos diagramas a cada una de las patas se les asigna una línea horizontal, para este caso en particular tenemos seis líneas asignadas previamente a cada una de las patas. En cada línea existe una línea más gruesa que representa el levantamiento de cada una de las patas de la superficie de desplazamiento [3][4].

En la figura 3 se muestra el diagrama para un sistema de locomoción fija en un robot hexápodo. Donde podemos observar la regularidad de cada uno de los movimientos en las patas del robot y en este caso también podemos observar que siempre se moverán las patas alternas de tal forma que siempre quede el robot soportado en tres patas.

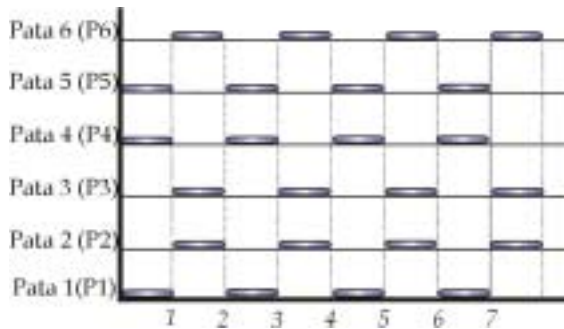


Figura 3 Diagrama de movimientos de en el desarrollo de la locomoción fija

### III. ESTABILIDAD DEL ROBOT HEXAPODO

La parte más importante en el desarrollo del algoritmo de locomoción es la estabilidad del robot, en la figura 4 se muestra como se proyecta el centro de gravedad a un polígono el cual está formado por las patas que se encuentran apoyadas en la superficie de desplazamiento, esta forma de calcular la estabilidad es muy utilizada por los robots caminantes de cuatro patas hacia arriba [5][6].

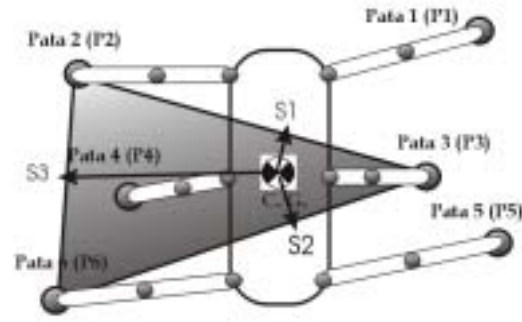


Figura 4 Diagrama de movimientos de en el desarrollo de la locomoción fija

En la ecuación 1 la distancia  $S$  en el plano  $xy$  donde  $C.G. (x_g, y_g)$ , consideramos el punto  $P (x_p, y_p)$  en el punto donde se forma la perpendicular con el centro de gravedad y la recta formada por ejemplo por la pata  $P1(x_1, y_1)$  y  $P2(x_2, y_2)$  [6], los cuales forman parte del polígono donde se está apoyando el robot.

$$S = \sqrt{(x_g - x_p)^2 + (y_g - y_p)^2} \quad (1)$$

En las ecuaciones 2 y 3 se calculan los valores del punto  $P$ . Donde las constantes  $C_1$  y  $C_2$  están definidas en las ecuaciones 4.

$$y_p = \frac{(x_g - x_p)(x_1 - x_2)}{y_2 - y_1} + y_g \quad (2)$$

$$x_p = \frac{C_1(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}{C_2((y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2)} \quad (3)$$

$$C_1 = [(y_g - y_1)(x_2 - x_1) + x_1](y_2 - y_1)^3 + x_g(x_2 - x_1)^2 \quad (4)$$

$$C_2 = (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)$$

En la ecuación 5 se muestra el valor mínimo de la distancia al polígono de apoyo con respecto al centro de gravedad, es este valor el que no permitirá conocer el desempeño del algoritmo de locomoción.

$$Sm = \min(S1, S2, S3, S4, S5, S6) \quad (5)$$

### IV. ALGORITMO DE LOMOCIÓN

Para el desarrollo del algoritmo de locomoción es necesario siempre asegurar que el robot no caiga es decir que siempre se encuentre un polígono de apoyo para soportar el cuerpo. En la figura 5 se propone una distribución de áreas geométricas formadas por las seis patas del robot.

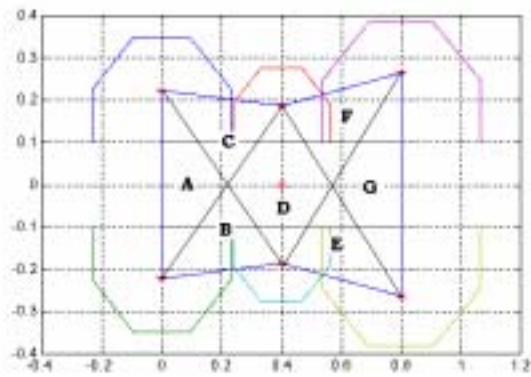


Figura 5 Áreas Propuestas para la Estabilidad.

Las áreas generas por la ubicación de las patas nos permiten tomar decisiones de cual pata va a ser posible de mover dependiendo en que lugar de estas áreas se encuentre el centro de gravedad del robot proyectado a la superficie.

La tabla 1 muestra las diferentes posibilidades de movimiento para una sola pata considerando las regiones mostradas en la figura 5.

Área	Movilidad de una Pata
A	P3 P4 P5 P6
B	P3 P4 P5 P6
C	P3 P4 P5 P6
D	P1 P2 P3 P4 P5 P6
E	P1 P2 P3 P4
F	P1 P2 P3 P4
G	P1 P2 P3 P4

Tabla 1 Movilidad en Una Pata

Cuando se levanta la pata como es el caso que se propone en la tabla 1 el robot queda soportado en un polígono de cinco lados, en donde el centro de gravedad proyectado debe de estar dentro de esta área para asegurar la estabilidad.

En la figura 6 se muestra el algoritmo propuesto para le desplazamiento del robot en la modalidad de locomoción libre utilizando la información de la tabla 1 y la figura 5, podemos ver en los círculos que corresponde a las distintas áreas y los cuadros corresponden a las seis patas del robot, esta información es al que alimenta a un algoritmo de decisión el cual determinara la pata a mover.

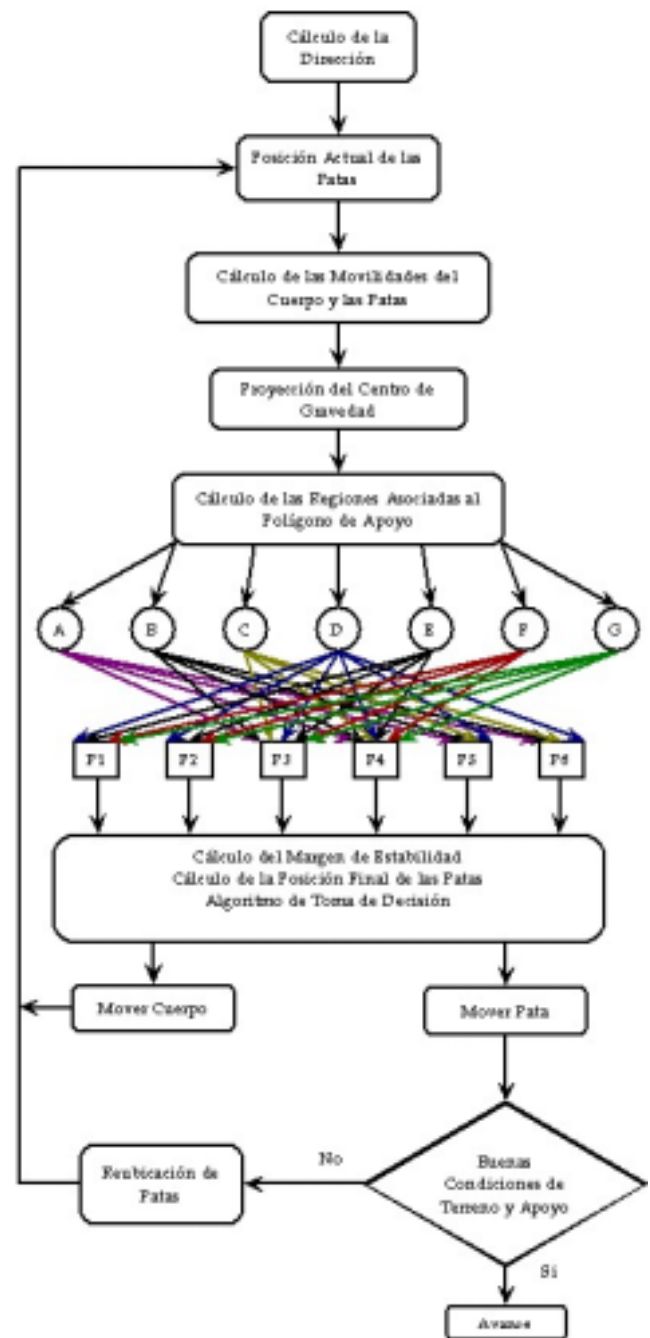


Figura 6 Algoritmos de Locomoción Libre

En la elaboración de los algoritmos se consideraron como resultado dos funciones de membresía una denominada baja y la otra función de membresía alta como se muestra en la figura 7, de esta forma cuando mucho tendremos que considerar 64 reglas sin considerar la variable de estabilidad. Una vez definido el número de variables en cada una de las patas se encuentra la relación matemática de cada una de las funciones de membresía difusa, estas se pueden ver en las ecuaciones 6 [7][8]. En donde hay que calcular la movilidad de cada una de las

patas. Este valor se determina de la distancia de la pata al límite del espacio de trabajo de la misma.



Figura 7 Diagramas de Funciones Difusas del Algoritmo.

Así tenemos que cada movilidad de las patas puede caer en los conjuntos difusos de movilidad baja y movilidad alta de las ecuaciones mostradas

$$\begin{aligned}
 Pb1 &= \{(d1, \mu_{B1}(d))\} & Pa1 &= \{(d1, \mu_{A1}(d))\} \\
 Pb2 &= \{(d2, \mu_{B1}(d))\} & Pa2 &= \{(d2, \mu_{A1}(d))\} \\
 Pb3 &= \{(d3, \mu_{B2}(d))\} & Pa3 &= \{(d3, \mu_{A2}(d))\} \quad (6) \\
 Pb4 &= \{(d4, \mu_{B2}(d))\} & Pa4 &= \{(d4, \mu_{A2}(d))\} \\
 Pb5 &= \{(d5, \mu_{B3}(d))\} & Pa5 &= \{(d5, \mu_{A3}(d))\} \\
 Pb6 &= \{(d6, \mu_{B3}(d))\} & Pa6 &= \{(d6, \mu_{A3}(d))\}
 \end{aligned}$$

Es necesario considerar que las funciones de pertenencia  $\mu$  varía dependiendo de las características de cada una de las patas se pueden agrupar en tres grupos para determinar la función de pertenencia, las patas P1 y P2 tienen el espacio de trabajo idéntico por las características físicas del robot, así queda definido la función de pertenencia para la movilidad baja de este par de patas como  $\mu_{B1}$  y en la movilidad alta será  $\mu_{A1}$ . De manera similar se determina para las patas P2 y P3 del medio y las P5 P6 de la parte trasera del robot. Con esta parte se cumple lo que se denomina con el término inglés como *fuzzyficación*.

Las reglas de inferencia difusa se expresan en función de las variables de entrada al sistema difuso y son la que juegan el papel más importante en la toma de decisión estas se extraen de la experiencia del experto como se conoce en el argot de la lógica difusa o por métodos heurísticos en el caso concreto de el algoritmo de locomoción cuando para el movimiento de una sola pata las posibilidades de salida en este caso son seis solamente en la tabla 2 se observa la nomenclatura asignada a cada una de las salidas asignadas, de esta forma se procede a

construir las reglas correspondientes a cada una de las áreas del polígono de apoyo, es decir que dependiendo de en que caso este la proyección del centro de gravedad se usará un algoritmo difuso específico.

Salida	Pata
S1	P1
S2	P2
S3	P3
S4	P4
S5	P5
S6	P6

Tabla 2 Salidas de las reglas de inferencia.

En las ecuaciones siguientes se presenta una muestra de las reglas que se usan en estos algoritmos:

$$\begin{aligned}
 &si \ Pa1 \Theta Pb2 \Theta Pb3 \Theta Pb4 \Theta Pb5 \Theta Pb6 \rightarrow S1 \\
 &si \ Pb1 \Theta Pa2 \Theta Pb3 \Theta Pb4 \Theta Pb5 \Theta Pb6 \rightarrow S2 \\
 &si \ Pb1 \Theta Pb2 \Theta Pa3 \Theta Pb4 \Theta Pb5 \Theta Pb6 \rightarrow S3 \\
 &si \ Pb1 \Theta Pb2 \Theta Pb3 \Theta Pa4 \Theta Pb5 \Theta Pb6 \rightarrow S4 \\
 &si \ Pb1 \Theta Pb2 \Theta Pb3 \Theta Pb4 \Theta Pa5 \Theta Pb6 \rightarrow S5 \\
 &si \ Pb1 \Theta Pb2 \Theta Pb3 \Theta Pb4 \Theta Pb5 \Theta Pa6 \rightarrow S6
 \end{aligned}$$

El operador  $\Theta$  que se usa queda definido por las distintas definiciones de operaciones difusas que puede ser desde un operador lógico conjunción o disyunción así como algún operador especial como el de Zade, Mandami Lukasiewski, en este caso muy particular se usó la conjunción y la manera más sencilla de obtenerla es usando el mínimo de las funciones difusas de cada una de las reglas[9]. Este algoritmo es el que determina que pata es posible de moverse.

## VI. SIMULACION DE RESULTADOS

Para probar el algoritmo se proponen dos trayectorias las cuales se pueden presentar en la figura 8. La primera trayectoria se realiza sobre una superficie sin irregularidades y en una línea recta esta es la primera parte y se presenta la figura 8 a). La segunda trayectoria se requiere rotar el cuerpo de robot para llegar a un punto similar a la primera trayectoria esta se realiza sobre un terreno irregular esta se muestra en la figura 8 b).

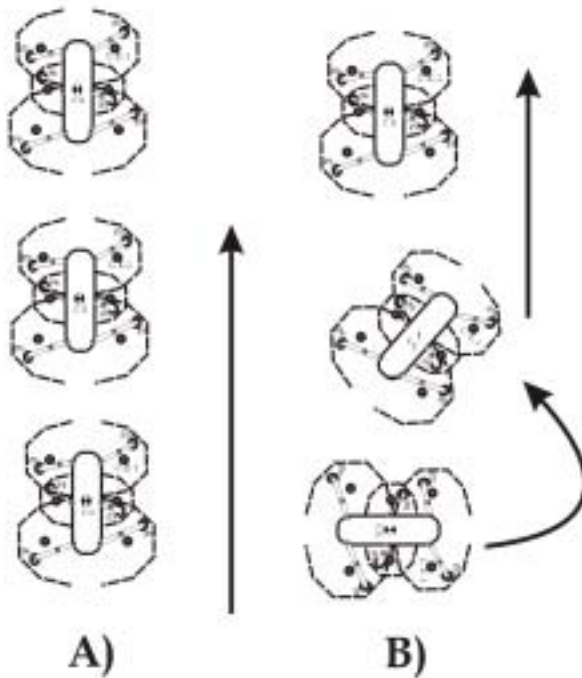


Figura 8 Diagrama de movimientos de en el desarrollo de la locomoción fija

La evaluación de la primera trayectoria se realiza mediante la estabilidad, para ver primeramente la evolución del robot en esta trayectoria se presenta la figura 9 donde las patas que tienen una marca son las que se encuentran en contacto con la superficie.

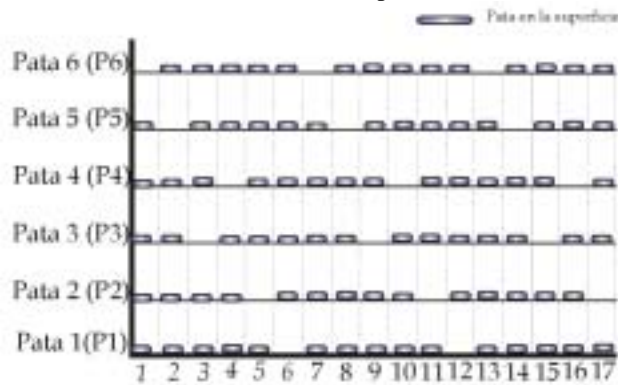


Figura 9 Diagrama de movimientos de en el desarrollo de la locomoción fija

El desempeño de esta trayectoria lo podemos evaluar con la información que tenemos con el margen de estabilidad el cual es graficado en la figura 10.

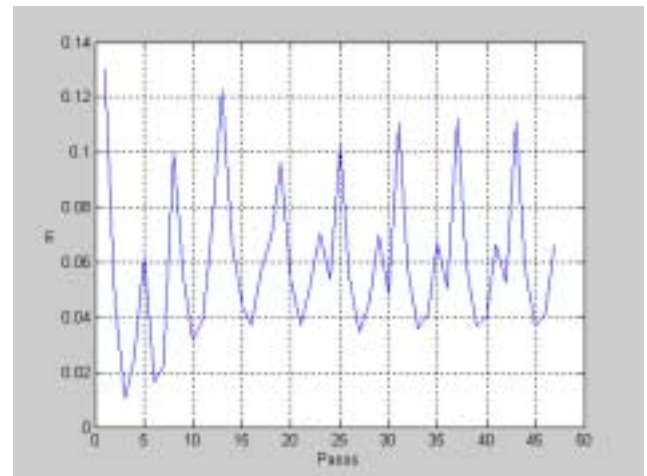


Figura 10 Diagrama de movimientos de en el desarrollo de la locomoción libre

Para al segunda trayectoria el diagrama de movimiento de patas se muestra en al figura 11 y como podemos observa que el robot trata de mantener un patrón parecido a la de la primer trayectoria pero la irregularidad del terreno y el cambio de posición hace que se encuentren pequeñas diferencias.

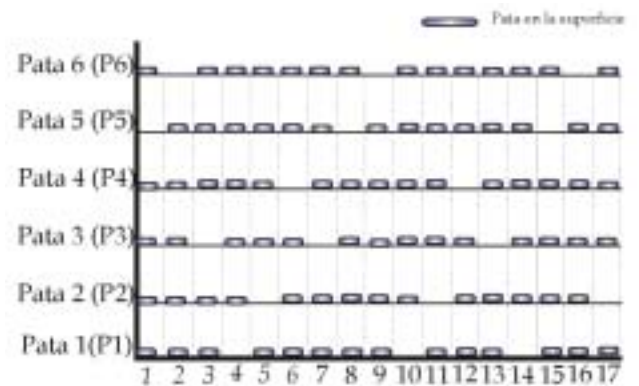


Figura 11 Diagrama de movimientos de en el desarrollo de la locomoción libre

La gráfica de estabilidad en este caso se muestra un valor un poco mas abajo que la primera por las nuevas variantes que esta trayectoria presenta esta se puede observar en al figura 12.



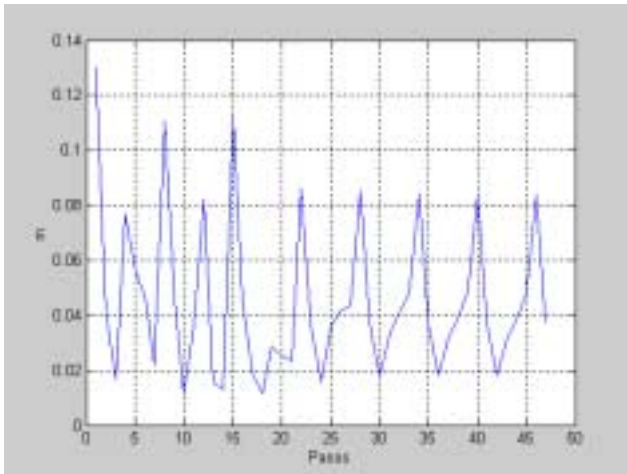


Figura 12 Diagrama de movimientos de en el desarrollo de la locomoción fija

## VI. CONCLUSION

El desarrollo de el algoritmo de locomoción libre presenta un buen desempeño para las distintas trayectorias y condiciones en las cuales este se ha probado la desventaja que este presenta es le tiempo de desplazamiento este es muy lento comparado con el de la locomoción fija, por otro lado de requiere un gran número de movimientos por tratarse de un sola pata.

El algoritmo difuso empleado a su vez permite cierta adaptabilidad del algoritmo dependiendo de las variables de entrada y la información que se pueda registrar de los distintos sensores del robot o del los cálculos del navegador del robot.

La investigación se continúa de manera que ahora se pueda extrapolar este tipo de algoritmo para la movilidad de dos y tres patas hasta que se pueda contar con un algoritmo que tome a su vez la decisión de cuantas patas se va a mover y cuales de ellas en bases a este algoritmo presentado tratando de generalizarlo para los otros casos.

## REFERENCIAS

[1] Hilderbrand M. "Symmetrical Gaits of Horses" Science Volumen 150. 1967

[2] V. Feliu, A Garcia, J. A. Somolinos. 2001. " Gauge-Base Tip Position Control of a New Three-Degree- of – Freedom Flexible Robot", in The international Journal of Robotics Research, Vol. 20 No. 8 August 2001.

[3] W. Ilg, T. Mühlfriedel, K. Berns, and R. Dillmanm "Hybrid Learning Concepts for a Biologically Inspired Control of Periodic Movements for Walking Machines" In Soft Computing in Mechatronics. Germany 1999.

[4] Shaoping Bai, H Low and Weimiao Guo "Kinematographic Experiments on The Leg Movements and Body Trayectories of Cockroach Walking on Different Terrain" In Proceedings of International Conferences on Robotics and Automation (San Francisco Cal, April 2001).

[5] Estramera Joaquin and Gonzales de Santos Pablo. "Free Gait For Cuadrupted Robots Over Irregular Terrain", The International Robotics Research, Volume 21. Number 2, Sage Science Press. February 2002.

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

[7] Tanaka Kazuo., "An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications ", Springer USA.1997.

[8] Arkin C. Ronald. "Behavior-Based Robotics". The MIT Press Cambrige, Massachusetts London England. 1998.

[9] Berkan Riza C. and Trubatch Sheldon. , "Fuzzy System Design Principle", IEEE Press. USA. 1997.

[10] Pedrycz Witold., "Fuzzy Control and Fuzzy Systems", Research Studies Press and John Wiley and Son Inc. London England. 1993

[11] Peter Nehaus and H Kazerooni. 2001. "Industrial-Strength Human-Assisted Walking Robots", Robotics and Automation Magazine of IEEE, Vol. 8, No.4 , December 2001.