

Diseño de un Robot Caminante Hexápodo Tipo Hormiga

Sánchez Ortiz Omar Augusto, Reyes García Mario Héctor, Vargas Soto José Emilio¹.

Instituto Tecnológico de Morelia
Av. Tecnológico 1500 Col. Lomas de Santiaguito
C.P. 58120 Morelia, Michoacán, México.

¹Universidad Anáhuac – Mexico Sur. Facultad de Ingeniería
Av. De las Torres 131, Col. Olivar de los Padres
CO 01780 México D.F.

Resumen

En este trabajo se presenta el diseño de un robot caminante hexápodo tipo hormiga, el cual presenta una articulación en el cuerpo, para realizar el estudio sobre el efecto que brinda la articulación y adquirir experiencia en el diseño de robots.

El diseño del robot es de gran importancia para realizar la manufactura ya que es la parte donde podemos encontrar mayores dificultades, la especificación de los detalles y realizar un diseño enfocado a la manufactura facilita la construcción del robot.

Con el objeto de encontrar una forma eficiente de movimiento se toman en cuenta distintas situaciones en las que se encuentra el robot, obteniendo como resultado conocer la ubicación del centro de gravedad del robot respecto al centro de gravedad del cuerpo del robot, y así fijar un radio de seguridad para mantener la estabilidad del robot, como también evaluar el margen de seguridad del polígono de apoyo, la evaluación de las ecuaciones es con el fin de obtener datos para conocer los límites del margen de estabilidad y del radio de seguridad ya que son de gran importancia para que así el robot mantenga su estabilidad estática, obteniendo los parámetros para establecer el control de la estabilidad del robot.

Palabras clave: Margen de estabilidad, Circulo de seguridad.

1. Introducción

Hoy en día la robótica como disciplina ha crecido y existe una gran cantidad de robots, cada uno de un estilo totalmente diferente al otro. La realización de una búsqueda de información ayuda a situar el desarrollo dentro del área de la robótica, se

observa que las investigaciones dentro del área de robots caminantes hexápodos parten desde hace varios años, en México es un área donde ya se esta incursionando en la actualidad.

El desarrollo de la mayoría de estas máquinas caminantes ha concluido en máquinas muy grandes, pesadas y lentas como el AMBLER-CMU [1] y debido a estas características de peso y tamaño presentan problemas en aplicaciones prácticas. Por el contrario también se han diseñado máquinas muy pequeñas, las cuales presentan el inconveniente de que la carga útil que pueden soportar es muy pequeña como los robots insectos diseñados por R. Brooks en el MIT [2]. Por ultimo se pueden encontrar máquinas de tamaño medio como el HAMLET desarrollado en la Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda, los cuales pueden soportar una pequeña carga y no presentan el problema del tamaño [3].

Una de las áreas de investigación en el desarrollo de los robots caminantes es el diseño mecánico, el cual interviene en el diseño de las patas y el diseño del cuerpo del robot. Para este caso se toman como ejemplos observaciones realizadas en la morfología de las hormigas, con el fin de adquirir algunas de sus características (capacidad de carga, desplazamiento por terrenos irregulares). Con el propósito de estudiar y adquirir experiencia en robots caminantes en el Instituto Tecnológico de Morelia (ITM) y en el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) se ha diseñado un robot hexápodo tipo hormiga (Fig. 1). La elección de tomar la morfología de la hormiga se debe a las características que este insecto presenta como lo son la gran capacidad de carga y la facilidad de desplazamiento por terrenos irregulares.

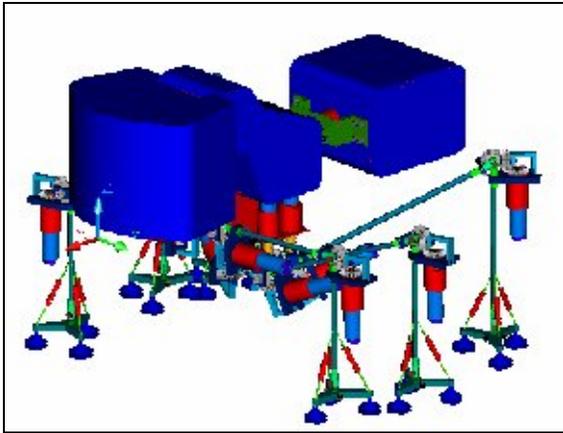


Fig. 1. Robot caminante hexápodo tipo hormiga.

Este artículo presenta el robot el robot caminante hexápodo tipo hormiga, su estructura mecánica y el trabajo desarrollado para la evaluación del margen de estabilidad y el círculo de seguridad.

2. El robot caminante hexápodo tipo hormiga

El estudio y la observación de la hormiga tanto en su ámbito natural como en su morfología llevó a determinar las características físicas del robot de forma paramétrica, plasmándolo en el diseño del robot. En la tabla 1 se muestran las longitudes de los eslabones de cada una de las patas del robot, estas longitudes guardan la relación y proporción de las extremidades de las hormigas.

Pata	Eslabón 1	Eslabón 2
Pata 1	0.21 m	0.28 m
Pata 2	0.21 m	0.28 m
Pata 3	0.266 m	0.364 m
Pata 4	0.266 m	0.364 m
Pata 5	0.35 m	0.476 m
Pata 6	0.35 m	0.476 m

Tabla. 1. Longitudes de los eslabones de las patas del robot.

La configuración del robot (Fig. 1), muestra que las seis patas se encuentran sobre el cuerpo del robot, localizadas específicamente en el tórax del robot (parte central), tres patas se disponen de un lado, y las otras tres patas se disponen de otro lado; la longitud del total del robot es de 1.0 m, teniendo como longitud de la cabeza de 0.278 m, la longitud del tórax 0.31 m y la longitud del abdomen de 0.37

m, el ancho en su cabeza es de 0.394 m, en el tórax es de 0.20 m y en el abdomen de 0.28 m, y la altura sobre la superficie es 0.5 m.

La mayor parte del material del robot es aluminio por lo que se obtiene un robot ligero y que cuenta con resistencia en su configuración física, el tipo de unión en su mayoría es de tipo no permanente para permitir ensamblar y desensamblar el robot en caso que se requiera. La transmisión propuesta esta basada a partir de engranes cónicos, brindando de esta manera exactitud y resistencia de los componentes de la transmisión al realizar los movimientos.

El peso del cuerpo del robot es de 11.22 kg. y el peso de cada una de las patas es de 3.9 kg. dando un peso total del robot de 34.62 kg.

3. Estabilidad del robot

En la locomoción sobre patas se han detectado dos problemas que se presentan en el control para este tipo de robots los cuales son: 1) determinar el modo de andar y localización de cada pata para conseguir que el cuerpo se desplace de un lugar a otro; 2) conseguir que en cada instante el robot permanezca estable durante su locomoción

Con el objetivo de tratar de entender “el cómo” de la locomoción del robot, se hicieron algunas consideraciones para realizar los movimientos de cada una de las patas. Una de estas consideraciones es la movilidad de cada una de las patas dentro de un área de trabajo correspondiente, para mantener la estabilidad del robot evitando que caiga a la superficie por una mala decisión de movimiento.

Analizando el modo de andar del vehículo desde el punto de vista estático se requiere que en todo momento de locomoción de las patas soporten el cuerpo. La proyección del centro de gravedad del cuerpo dentro del polígono de apoyo que forman las patas apoyadas juega un papel muy importante dentro de la estabilidad del robot. El número de patas mínimas consideradas que aseguran una buena estabilidad son tres, que al ser apoyadas en la superficie generan un triángulo donde el robot esta soportado, si se apoyan cuatro se tiene un polígono de cuatro lados, y cinco lados se tiene en el caso que solamente una de las patas esté en movimiento o fuera del contacto de la superficie. Independientemente del número de patas que estén realizando contacto con la superficie, la proyección del centro de gravedad debe estar dentro del área del

polígono que se forma con las patas que están soportando el cuerpo del robot como se puede ver en la fig. 2. Ésta es la condición indispensable que evita que el robot caiga.

El polígono de apoyo es el que se forma en la superficie por las patas que soportan el cuerpo. Particularmente en este caso el polígono de apoyo está formado por tres patas que son P1, P4 y P5.

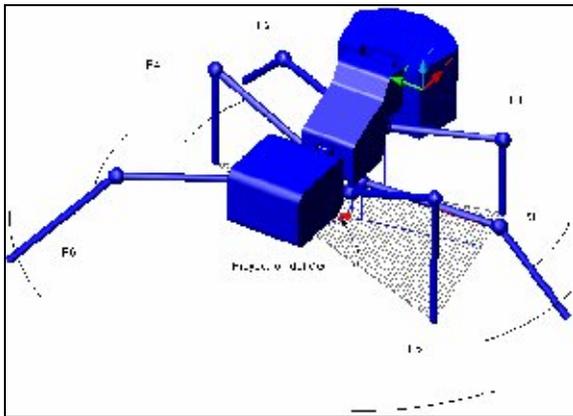


Fig. 2. Representación del polígono de apoyo.

3.1 Margen de estabilidad

El grado de estabilidad del robot está definido como la mínima distancia que hay entre la proyección del centro de gravedad del cuerpo dentro de un margen de seguridad y la frontera que existe en cada uno de los lados del polígono de apoyo generado en el estado actual del robot [4].

El polígono de apoyo se muestra en la fig. 3 donde se tienen las patas P2, P3 y P6 apoyadas en la superficie; en este caso se requiere calcular tres distancias S1, S2 y S3, como se observa en la fig. 3.

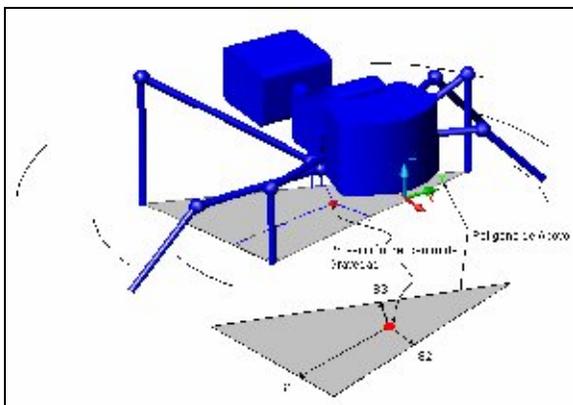


Fig. 3. Margen de estabilidad.

Por otro lado, el margen de seguridad es un valor que permite asegurar que el centro de gravedad se encuentre dentro del polígono de apoyo. El radio de seguridad (Rs) es la incertidumbre de la posición real del centro de gravedad del robot con respecto al centro geométrico del cuerpo [6], así que analizando y evaluando estos conceptos se puede asegurar la estabilidad del robot.

El cálculo de las distancias S del centro de gravedad proyectado $C.G.(x_g, y_g, z_g)$, y el punto $P(x_p, y_p, z_p)$ que forma la perpendicular con el centro de gravedad y la línea formada por dos patas del robot que lo soportan se representa en la ecuación:

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

donde x_g, y_g, z_g son las coordenadas de la proyección del centro de gravedad y x_p, y_p, z_p son las coordenadas del punto P ambas respecto a un sistema de referencia inercial.

Utilizando la ecuación de la recta en el espacio la distancia S esta dada a continuación:

$$S = \frac{|Ax_g + By_g + Cz_g + D|}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} \quad (2)$$

Ahora si se considera un plano en xy tomando un valor promedio de altura z , el cálculo de la distancia se simplifica a \mathcal{R}^2 .

La distancia S en el plano xy donde las coordenadas del centro de gravedad se denotan como $C.G.(x_g, y_g)$, se considera el punto $P(x_p, y_p)$ donde se forma la perpendicular con el centro de gravedad y la recta formada, por ejemplo por la pata $P_1(x_1, y_1)$ y $P_2(x_2, y_2)$ [7].

$$S = \sqrt{(x_g - x_p)^2 + (y_g - y_p)^2} \quad (3)$$

despejando se obtiene:

$$a = \sqrt{c^2 - s^2}$$

$$(l - a) = \sqrt{d^2 - s^2}$$

haciendo una sustitución de variables se obtiene la ecuación:

$$l = \sqrt{d^2 - s^2} + \sqrt{c^2 - s^2} \quad (4)$$

esto lleva a despejar S y dejando todo en función de las demás variables se tiene la ecuación:

$$s^2 = d^2 - \frac{1}{4} \left(l + \frac{d^2 - c^2}{l} \right)^2 \quad (5)$$

$$s^2 = c^2 - \frac{1}{4} \left(l + \frac{c^2 - d^2}{l} \right)^2$$

de donde las variables c , d , y l quedan en función de x_g , y_g , x_1 , y_1 , x_2 , y_2 .

$$\begin{aligned} c^2 &= (x_g - x_1)^2 + (y_g - y_1)^2 \\ d^2 &= (x_g - x_2)^2 + (y_g - y_2)^2 \\ l^2 &= (x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

3.2 Evaluación del Círculo de Seguridad

Para evaluar del círculo de seguridad se simulan algunas posiciones del robot, calculando así el centroide en cada una de estas posiciones, esto ayuda a identificar cuales posiciones son las más críticas o los límites de donde se parte para especificar el círculo de seguridad del robot. Con ayuda del software Mechanical Desktop se realiza la simulación de las posiciones y el cálculo del centroide. En la fig. 4 y 5 se muestran las posiciones del cuerpo una sin patas y la otra en una posición de andar y en la tabla 2 se muestran los valores del centro de gravedad en varias posiciones.

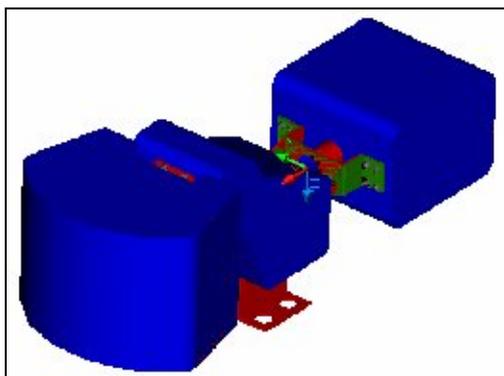


Fig. 4. Posición horizontal del cuerpo del robot sin patas.

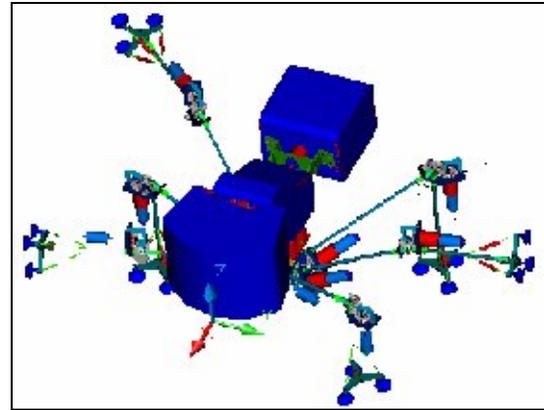


Fig. 5. Posición horizontal del cuerpo del robot con las patas 1, 4 y 5 levantadas y todas las patas adelante.

	x	y	z	
1	-339.61	0	94.92	
2	-349.329	0	-13.185	123456D
3	-348.241	1.885	-12.029	13456D2U
4	-361.257	2.883	-12.029	13456D2U
5	-361.257	-1.332	-7.815	1456D32U
6	-377.048	3.395	-7.815	1456D23U
7	-380.202	9.847	0.769	145D623U
8	-400.08	-8.7	0.77	145D236U
9	-393.858	-12.295	-7.815	1456D23U
10	-391.543	-8.774	-12.029	14536D2U
11	-390.75	-10.8	-13.19	145236D
12	-389.666	-12.687	-12.029	45236D1U
13	-389.666	-8.47	-7.81	5236D14U
14	-392.82	-14.925	0.769	236D145U
15	-412.7	3.63	0.77	236D514U
16	-428.487	-1.1	0.769	236D451U
17	-441.503	-2.098	0.769	236D145U
18	-435.284	1.493	-7.815	2356D14U
19	-434.495	3.521	-8.971	12356D4U
20	-432.18	0	-13.185	123456D
21	-343.501	1.885	-23.472	13456D2UG
22	-436.764	-2.098	-10.674	236D145UG

123456 = No. De pata del robot

■ = Adelante

■ = Atrás

D = Abajo

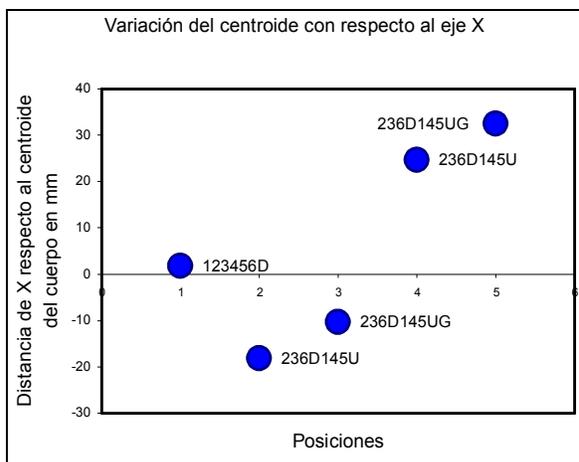
U = Arriba

G = Abdomen en su posición max. de giro

Tabla. 2. Centro de gravedad del cuerpo del robot con las patas en diferentes posiciones

La gráfica 1 muestra los límites máximos del centro de gravedad en el eje x , esto es cuando las

patas se encuentran hacia atrás y 1, 4 y 5 están levantadas dando el paso, y el otro límite es cuando las patas están hacia atrás cuando 1, 4 y 5 están levantadas, también se puede observar que con ayuda de la articulación se puede disminuir o aumentar la distancia con respecto al centroide del cuerpo, como es el caso de cuando todas las patas se encuentran hacia atrás, 1, 4 y 5 levantadas y el abdomen girado hacia abajo en un ángulo de 45° para este caso se observa una menor diferencia, la cual es aproximadamente de 10 mm, en el caso donde las patas se encuentran hacia delante y 1, 4 y 5 levantadas, la diferencia aumenta, lo que conduce a considerarlo para así proponer el radio de seguridad, basado en estos datos.



Gráfica 1. Comportamiento del centro de gravedad del cuerpo en diferentes posiciones sobre el eje x.

4. Análisis de resultados

El desarrollo que se llevó a cabo cuenta con un diseño de un cuerpo articulado en robots caminantes de seis patas. La realización de algunos aspectos del diseño, tenían que ser tales que no afectaron la funcionalidad del cuerpo, el espacio y las dimensiones presentan una relación de escala respecto a una hormiga, obteniéndose así una escala de 80 : 1 donde las dimensiones generales del robot son de 1000 mm. de longitud, 392 mm. de ancho, 280 mm. de altura, y la longitud de las patas de 826 mm.

También se generó un estudio y se evaluó el radio de seguridad para así conocer la incertidumbre de cambio del centro de gravedad, fijando este parámetro y así tener un mejor control sobre la estabilidad del robot. Dentro de este estudio también se evaluó el efecto que presenta la articulación del cuerpo, la cual ayuda a disminuir esta incertidumbre,

disminuyendo el radio de seguridad y manteniendo la estabilidad en el robot al caminar

Por otro lado el desarrollo de las ecuaciones del margen de seguridad del polígono de apoyo, que se evaluaron para obtener el valor de este margen en algunas posiciones. Además, el resultado de la evaluación del radio de seguridad se comparó con la evaluación del margen de estabilidad del polígono de apoyo, donde los resultados que esta comparación arroja son satisfactorios, ya que el círculo de seguridad queda dentro del polígono de apoyo siendo muy pequeño en comparación del margen de estabilidad, en donde $S_1 = 111.85$ mm., $S_2 = 386.41$ mm., $S_3 = 178.30$ mm., lo cual indica que estas distancias son mayores a la distancia del radio de seguridad que es de 25 mm., por lo que dista mucho el que el centro de gravedad llegue a los límites del margen de estabilidad, esto favorece e indica que la estabilidad del robot es buena en condiciones estáticas y no se corre el riesgo de que pierda el equilibrio, teniendo una mayor movilidad, usando este dato para el desarrollo de los algoritmos de locomoción.

Por otro lado el desarrollo de un diseño nuevo en un cuerpo articulado resulta en un avance para la robótica ya que con la ayuda de este diseño se pueden controlar factores los cuales brindan seguridad al andar del robot.

5. Conclusiones

En este artículo se presenta el robot caminante hexápodo tipo hormiga. Se incluye una breve descripción de su configuración y se muestran los criterios utilizados para mantener la estabilidad del robot, basados en el margen de estabilidad y el círculo de seguridad. Este diseño constituye un banco de ensayos para futuras investigaciones en máquinas caminantes tales como generación de modos de caminar, diseño del sistema de control, fabricación del prototipo, entre otros trabajos de interés.

Referencias

- [1] Bares, J.E., Whittaker. "Configuration of an autonomous robot for mars exploration", World Conference on robotics research: the next five years and beyond. Gaithersburg, Maryland, 1989.
- [2] Brooks, R. "A robot that walks: Emergent behaviors from a carefully evolve network". Massachusetts Institute of technology, vol. 1, pp. 253-262, 1989.

- [3] Fielding, M “*Hamlet: Force/Position Controlled Hexapod Walker- Design and Systems*”. pp. 1-5 University of Canterbury, New Zealand, 2001.
- [4] Gorrostieta E., “*Diseñando un Robot Caminante de Seis Patas*” Segundo Congreso Nacional de Robótica, Asociación Mexicana de Robótica e Instituto Tecnológico de Toluca, septiembre 2000.
- [5] Song S., Waldron K.J.. “*Machine the Walk: The Adaptive Suspension Vehicle*”. The MIT Press Series In The Intelligence Artificial. First Edition. pp. 37-48, London pp.28, 1989.
- [6] Vargas E., M.A. Jiménez, M.A Armada., “ *A Graphics Simulator for the Telepresence Station of a Legged Locomotion Robot*”, 4th International Symposium on Offshore, Robotics and Artificial Intelligence. pp. 153-162, Marseille, France, 1991.
- [7] Vargas Soto José Emilio “*Diseño y Realización de Algoritmos de Locomoción Libre para Robots Caminantes de Cuatro Patas*”, Universidad Computense de Madrid Departamento de Informática y Automática Facultad de Ciencias Físicas. Madrid España.1994.