

CAPÍTULO VII

Locomoción



7. LOCOMOCIÓN.

7.1 Introducción

Los tipos de movimientos en la mayoría de los animales así como en plataformas robóticas pueden ser clasificados como: cambio de forma y locomoción. El cambio de forma hace referencia a la capacidad de auto-reconfiguración, para esto, los robots deberán agregar a sus características ejercicios en el control y la planificación, que pasa por dos niveles. En un nivel, el robot debe planear como remodelarse a sí mismo para pasar de una forma A a la forma B o a la C por mencionar ejemplos. En otro nivel, el robot también debe planear la serie de formas necesarias para lograr tareas más complicadas, como el movimiento sobre los terrenos difíciles o sortear obstáculos en su camino. Sin embargo, la capacidad de cambio de forma es un aspecto que queda fuera de nuestro interés en el presente proyecto.

Por otro lado, la locomoción hace referencia a todas las características que involucran un desplazamiento del robot. Principalmente la locomoción depende de las fuerzas aplicadas al objeto a ser desplazado, las cuales deben poseer una componente en la misma dirección del desplazamiento pero con sentido contrario. Se pueden generalizar cuatro tipos de fuerzas involucradas:

- Propulsión: empuje contra la superficie en la dirección del movimiento
- Fricción para el aumento del empuje de propulsión.
- Adhesión para contrarrestar las fuerzas no propulsivas que tiendan a despegar al móvil de la superficie.
- Soporte para resistir las fuerzas que tiendan a presionar al móvil contra la superficie.

Nótese que no todas las fuerzas señaladas anteriormente están siempre presentes en el proceso de locomoción, o bien no parece evidente su presencia. Sin embargo se



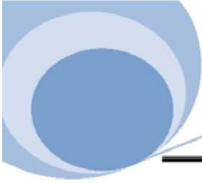
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

puede afirmar que en varios casos está involucrada tanto la reacción de la superficie como la mecánica de la misma. La locomoción requiere un contacto entre el móvil y la superficie para que provea de soporte y adhesión. Este contacto también puede ser útil para la propulsión mediante fricción.

En el caso de locomoción con patas, la limitación fundamental es la dimensión finita de cada paso, por lo cual cada pata debe ser movida hacia adelante y atrás de manera repetida para lograr la locomoción del cuerpo o base. Dando al sistema locomotor una característica propia de oscilación. Esta característica es de importancia cuando se realiza el modelado de la secuencia de avance del robot. Una consecuencia del proceso de transferencia de la pata de atrás hacia adelante, momento durante el cual se separa de la superficie, es que el soporte del robot debe hacerse mediante otros medios, siendo las posibles opciones las siguientes:

1. El robot descansa sobre su cuerpo durante la transferencia de las patas, esto reduce la velocidad máxima.
2. La plataforma está provista de múltiples patas, donde mientras un grupo de ellas se pone en movimiento, otro grupo se mantiene en contacto con la superficie para proveer de soporte al robot.
3. El robot "flota" entre pasos de propulsión simultáneos de todas las patas, donde el equilibrio pasa a ser enteramente dinámico, y posiblemente se requiera algún soporte dinámico.

En Robótica, la primera opción es adecuada en maquinarias pesadas y lentas donde la velocidad no es crítica y se prefiere la simplicidad del manejo de las patas. La opción de la "flotación" es útil donde se requieren altas velocidades, sin embargo el control de la dinámica involucrada es una tarea extremadamente compleja. La opción más usada en robots de competencia es la segunda, el problema radica en encontrar las fases adecuadas para el apoyo y avance de las patas, así como la corrección de



tales movimientos según los cambios de desplazamientos y las variaciones del entorno.

En general, el uso de "patas" para la locomoción de un robot genera un gran problema para la Robótica ya que los robots tienen que mantenerse estables estática o dinámicamente según sea el caso y el grado de dicha dificultad dependerá del tipo de robot, por lo general va ligado al número de patas y a los grados de libertad de cada una de ellas.

7.2 Condición de Equilibrio Estático del Robot

En general, los robots que utilizan patas como medio de sustentación y/o locomoción cuando cuentan con un número de patas mayor a 2, su equilibrio estático no representa un problema para los desarrolladores, en nuestro caso al contar con 6 patas que pueden fungir como apoyo al momento del reposo del robot el problema del equilibrio estático no representaría un gran problema (6 patas \gg 2 patas), esto se debe a que de forma estática el robot cuenta con múltiples opciones de apoyo, el único problema inicia cuando se agrega el desplazamiento del robot, es entonces donde deberá buscarse el equilibrio estático dentro del proceso de locomoción para lograr principalmente 3 objetivos:

- Que el robot se mantenga en movimiento.
- Que el robot logre la trayectoria deseada de manera controlada.
- Mantener la posición del robot y evitar su vuelco.

Desde el punto de vista dinámico, se requiere que en todo momento de la locomoción, las patas soporten el peso del cuerpo y lo mantengan erguido. En nuestro caso al contar con 6 patas pueden visualizarse múltiples combinaciones para dicho objetivo, sin embargo siempre se tendrá como limitante un número mínimo de patas en superficie, en nuestro caso tres. Estas tres patas al ser apoyadas en la superficie generan un triángulo sobre el cual el robot está soportado. Si se apoyaran cuatro se tendría un polígono de cuatro lados, y cinco lados se tiene en el caso que solamente una de las patas esté en movimiento como se puede ver en la figura 7.1:

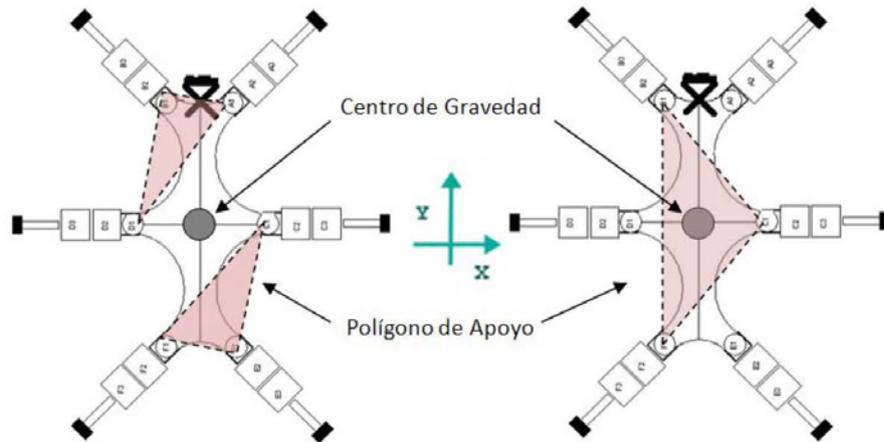
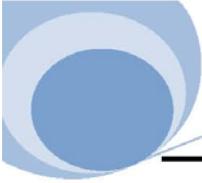


Figura 7.1 Apoyos de las patas

Independientemente del número de patas que estén realizando contacto con la superficie, la proyección del centro de gravedad debe estar dentro del área de un polígono que se forma con las patas que están soportando el cuerpo del robot como se puede ver en la figura 7.2. Ésta condición es indispensable para evitar que el robot caiga.

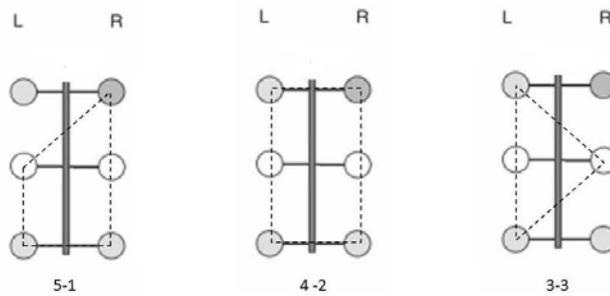


Figura 7.2 Condición de equilibrio estático



La condición de equilibrio estático se resume a que la proyección de la fuerza de gravedad sobre la superficie de apoyo intercepte en su totalidad al polígono de apoyo en su interior. De esta manera los pares de rotación producto del peso por el brazo de palanca de cada pata apuntan todos hacia el interior del cuerpo, siendo todos anulados por las componentes normales de los puntos de apoyo. Si la proyección del peso cae fuera del polígono de apoyo, se tiene una componente no nula de rotación que reduce la fuerza de soporte en alguna de las patas, provocando su desprendimiento de la superficie de apoyo y por último el vuelco del robot.

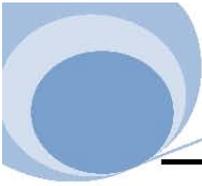
7.3 Opciones de Movimiento de Patas

Una vez determinada la condición de equilibrio estático, es momento de determinar el modo de desplazamiento a generar por el Robot. Si bien podemos visualizar múltiples opciones de locomoción en un robot hexápodo con 6 patas y 18 grados de libertad con la disposición de patas como las presenta nuestro modelo, generalizaremos tres opciones como las más eficaces y las más utilizadas en el mundo de la Robótica dependiendo la aplicación a la que se someterá el robot. Dichos tipos de movimiento son:

- Movimiento singular
- Movimiento Cuadrúpedo
- Movimiento Trípode

7.3.1 Ciclo de Movimiento singular

Este tipo de movimiento es el más simple pero a su vez el más complicado. Este movimiento consiste en avanzar una pata a la vez. El ciclo inicia avanzando una de las patas posteriores de cualquier lado, a continuación se avanza la pata intermedia del mismo lado y finalmente la primer pata del mismo lado, posteriormente se adelanta la última pata del lado contrario, después se adelanta la pata media del



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

mismo lado y finalmente la primer pata de ese lado. Una vez adelantadas todas las patas el robot se habrá desplazado hacia adelante una distancia que dependerá de la longitud de las patas y del rango de giro de los motores de desplazamiento lineal. Dicha rutina se deberá repetir ciclicamente para realizar un movimiento continuo. Esta forma de caminar mantiene la condición del equilibrio dinámico ya que en todo momento el centro de gravedad se mantiene inmerso dentro del polígono formado por las 5 patas en reposo.

El principio del movimiento de las patas se muestra en la figura 7.3, donde los círculos oscuros implican soporte en la superficie y los círculos claros implican levantamiento de la pata:

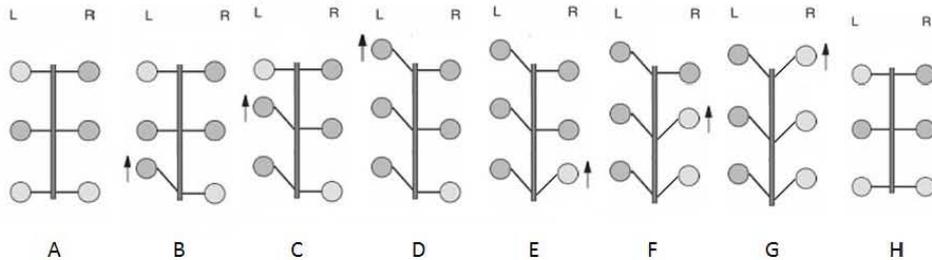
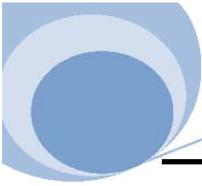


Figura 7.3 Principio del movimiento singular de las patas

7.3.2 Ciclo de Movimiento Cuadrúpedo

El robot se compone de seis patas las cuales se encuentran equitativamente distribuidas en ambos lados del robot. Tres patas a la derecha y tres patas a la izquierda. La locomoción inicia cuando dos de las patas de un mismo lado se mueven simultáneamente hacia adelante, mientras que la pata central del lado opuesto se levantara sobre su misma posición (funcionando como soporte) quedando tres patas en el piso manteniendo así el equilibrio estático y evitando que vuelque (dos patas de



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

un lado y una del otro). Posteriormente las dos patas del lado contrario se moverán simultáneamente hacia adelante, mientras que la pata central del lado opuesto se levantará sobre su misma posición, en el mismo instante, las dos patas contrarias que se encuentran avanzadas regresarán a su posición original pero estando en contacto con la superficie, logrando así el movimiento de arrastre y finalmente el desplazamiento del robot. Es entonces cuando se deberá repetir la secuencia para lograr así el avance del robot.

El principio del movimiento de las patas se muestra en la figura 7.4 donde los círculos oscuros implican soporte en la superficie y los círculos claros implican levantamiento de la pata:

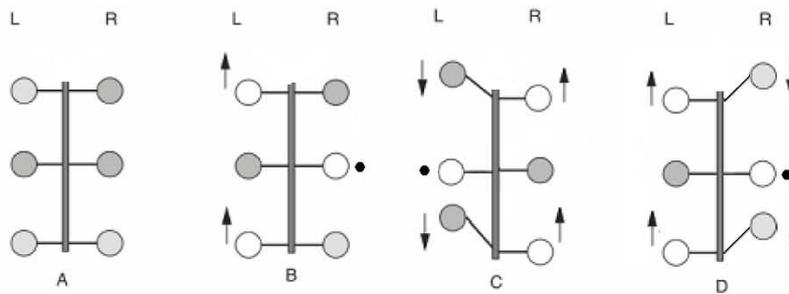
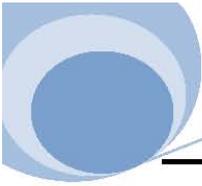


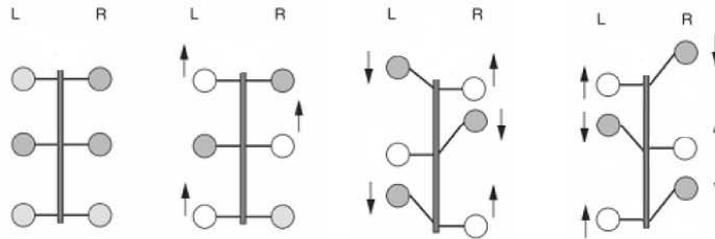
Figura 7.4 Principio del movimiento cuadrúpedo de las patas

7.3.3 Ciclo de Movimiento Trípode

Este tipo de movimiento consiste en mover tres patas alternadas en forma triangular y de manera simultánea hacia adelante y mantener tres patas en la superficie para mantener la condición del equilibrio estático, posteriormente las tres patas que se mantuvieron en la superficie se levantan y adelantan mientras que las que se adelantaron anteriormente realizan un movimiento de arrastre (en retroceso) para de esta forma adelantar el cuerpo del robot.



El principio del movimiento de las patas se muestra en la figura 7.5, donde los círculos oscuros implican soporte en la superficie y los círculos claros implican levantamiento



de la pata.

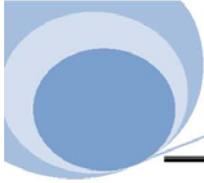
Figura 7.5 Principio del movimiento Trípode de las patas

7.4 Comparación y Selección de modo de locomoción

Tras analizar a detalle cada una de las opciones de locomoción propuestas, se llegó a la conclusión de que al ser una competencia de velocidad la opción singular es la más lenta y más complicada de realizar por el robot. Los modos cuadrúpedo y trípode poseen los mismos principios en esencia sin embargo la forma cuadrúpeda tiene un mayor cuidado en el equilibrio y no así en la velocidad de desplazamiento, por el contrario el modo trípode aprovecha todas y cada una de sus extremidades como medio de locomoción y/o sustentación por lo que lo hace el modo más adecuado para nuestra aplicación.

7.5 Secuencia de Locomoción

Una vez determinado el modo de locomoción (el cual juega un papel muy importante en el desempeño del robot ya que se tiene como objetivo primordial la velocidad de desplazamiento), el siguiente paso es la determinación de las posiciones de cada



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

uno de los grados de libertad que proporciona cada motor al robot y que suministrarán la secuencia final de locomoción.

Dicha determinación de posición de los motores es de igual forma un paso fundamental para la realización del programa que controlará cada uno de los servomotores mediante las señales de PWM en cada uno de los instantes de los movimientos que pretendemos realice nuestro robot hexápodo, una vez plasmada la mejor configuración de posicionamiento de motores bastará con encontrar la sincronización y el tiempo adecuado de cada paso.

Fundamentalmente podemos distinguir dos secuencias de movimiento a realizar:

- El desplazamiento frontal del robot.
- Rotación de 180°.

Para el análisis de la locomoción del robot hexápodo se considera la siguiente nomenclatura y disposición de los servomotores en el cuerpo del robot. En cada pata se pueden observar los 3 servomotores que le dan los grados de libertad, a los cuales se les otorga una letra y un número para su identificación. A continuación se anexa la figura 7.6 con dicha nomenclatura:

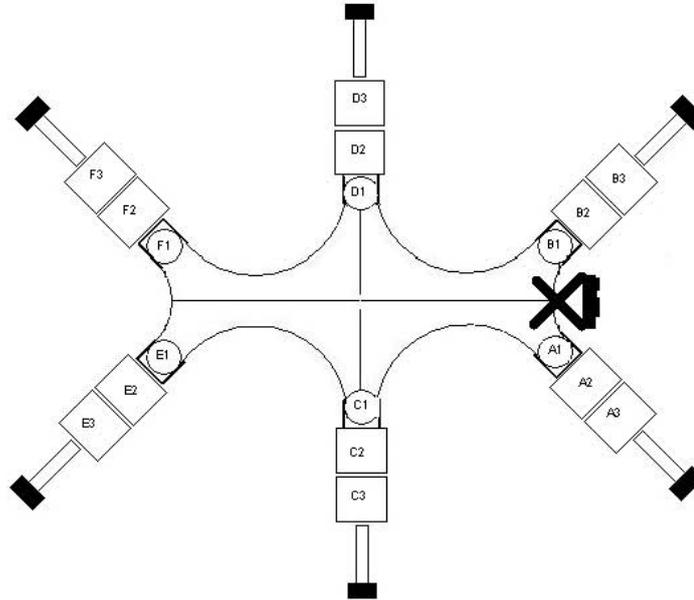
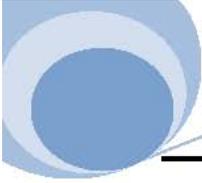


Figura 7.6. Nomenclatura de los servomotores de las patas del robot hexápodo

Además de la nomenclatura es importante también considerar el sentido positivo y negativo de los ángulos que va adquiriendo cada servomotor para dar movimiento al robot. El sentido del ángulo que forma el servomotor partiendo de la posición 0° lo consideramos positivo cuando es en sentido de las manecillas del reloj y negativo cuando es al contrario. Lo anterior se ilustra en las figuras 7.7 y 7.8.

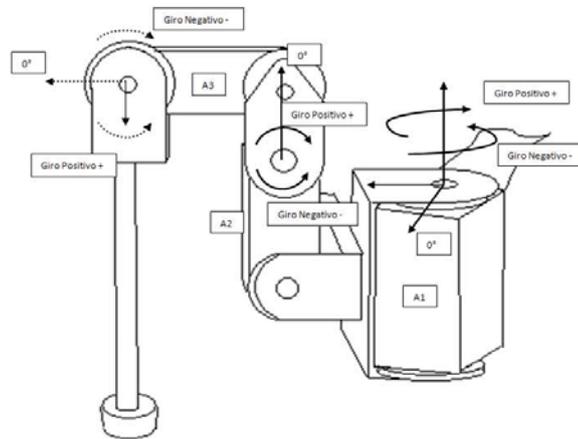
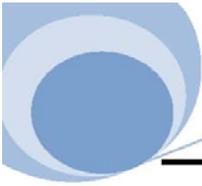


Figura 7.7. Sentido de giro de los ángulos de la pata A de TARANTEL y cuyos patrones se repiten para las patitas C y E. En este caso está en la posición 0 del robot hexápodo.

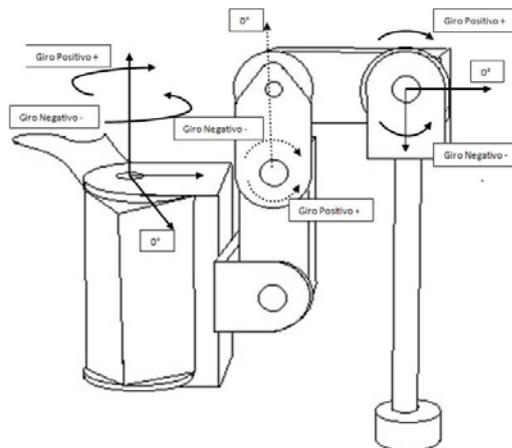


Figura 7.8 Sentido de giro de los ángulos de la pata B de TARANTEL y cuyos patrones se repiten para las patitas D y F. En este caso está en la posición 0 del robot hexápodo.



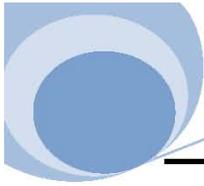
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

Una vez establecidos los sentidos de los giros y la nomenclatura de las partes del robot, el siguiente punto es ejemplificar la secuencia de locomoción basados en el modo tripoide.

7.5.1 Secuencia de avance

Si bien ya se explicó en qué consiste la secuencia general de locomoción del tipo tripoide, es necesario detallarla y aplicarla punto a punto a nuestro robot. La secuencia completa se describe a continuación:

- La secuencia inicia desde el robot en su posición "0" o estado de reposo, esto es: los motores de avance colocados de forma perpendicular al eje del cuerpo (A1,B1,C1,D1,E1 y F1), los motores de altitud en su posición de inicio nulo es decir justo al centro de su rango de movimiento esto es a 0° (A2,B2,C2,D2,E2 y F2) y los motores de apertura colocados de forma paralela a la superficie esto es a 90° ((A3,B3,C3,D3,E3 y F3).
- En el instante 1, el robot inicia el ciclo tripoide, esto es, las patas A,D y E son adelantas, para esto A1,D1 y E1 se mueven 45° hacia adelante, A2, D2 y E2 se levantan 15° y A3,D3 y E3 se cierran hacia el cuerpo del robot aproximadamente 10° . Las patas B, C y F permanecen sobre la superficie manteniendo el equilibrio del robot.
- En el instante 2, A, D y E regresan a hacer contacto con la superficie justo a los valores de la posición "0" solo que adelantados 45° . Las patas B, C y F permanecen sin cambio alguno.
- En el instante 3, las patas A,D y E permanecen 45° adelantadas sobre la superficie mientras que las patas B,C y F se adelantan, para esto B1,C1 y F1 se mueven 45° hacia adelante, B2, C2 y F2 se levantan 15° y B3,C3 y F3 se cierran hacia el cuerpo del robot aproximadamente 10° .



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

- En el instante 4, las patas A,D y E realizan un movimiento de arrastre para de esta forma adelantar el cuerpo, esto se realiza atrasando los motores A1,D1 y E1 90° hacia atrás, mientras que las patas B,C y F permanecen en levantadas y adelantadas 45° .
- En el instante 5, la patas B, C y F regresan a hacer contacto con la superficie justo a los valores de la posición "0" solo que adelantados 45° hacia adelante. Y las patas A,D y E permanecen en la superficie atrasadas 45° .
- En el instante 6, las patas A,D y E son adelantadas nuevamente, para esto A1,D1 y E1 se mueven 45° hacia adelante, A2, D2 y E2 se levantan 15° y A3,D3 y E3 se cierran hacia el cuerpo del robot aproximadamente 10° . Las patas B, C y F realizan ahora el movimiento de arrastre, para esto B1,C1 y F1 se mueven 90° hacia atrás. Es en este instante cuando se puede repetir la secuencia desde el instante 1 para generar la secuencia cíclica de locomoción de avance.

En la figura 7.9 se muestra instante a instante dicha secuencia de locomoción, donde los círculos oscuros implican soporte en la superficie y los círculos claros implican levantamiento de la pata:

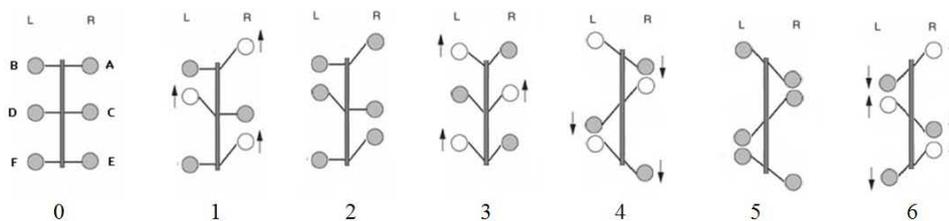
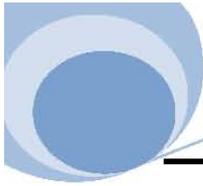


Figura 7.9 Secuencia de locomoción a cada instante



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

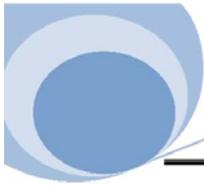
En la tabla 7.1 se muestran los instantes para cada posición de los servomotores descrita en la secuencia anterior.

	Servo	Posición 0	Instante 1	Instante 2	Instante 3	Instante 4	Instante 5	Instante 6
PATA A	A1	45°	0°	0°	0°	90°	90°	0°
	A2	0°	15°	0°	0°	0°	0°	15°
	A3	90°	100°	90°	90°	90°	90°	100°
PATA B	B1	-45°	-45°	-45°	0°	0°	0°	-90°
	B2	0°	0°	0°	15°	15°	0°	0°
	B3	90°	90°	90°	100°	100°	90°	90°
PATA C	C1	0°	0°	0°	-45°	-45°	-45°	45°
	C2	0°	0°	0°	15°	15°	0°	0°
	C3	90°	90°	90°	100°	100°	90°	90°
PATA D	D1	0°	45°	45°	45°	-45°	-45°	45°
	D2	0°	15°	0°	0°	0°	0°	15°
	D3	90°	100°	90°	90°	90°	90°	100°
PATA E	E1	-45°	-90°	-90°	-90°	0°	0°	-90°
	E2	0°	15°	0°	0°	0°	0°	15°
	E3	90°	100°	90°	90°	90°	90°	100°
PATA F	F1	45°	45°	45°	90°	90°	90°	0°
	F2	0°	0°	0°	15°	15°	0°	0°
	F3	90°	90°	90°	100°	100°	90°	90°

Tabla 7.1. Secuencia de ángulos para el avance hacia delante del robot hexápodo

En la tabla 7.1 podemos observar que en seis instantes se completa el ciclo de avance hacia delante de nuestro robot hexápodo, pues el siguiente instante es la repetición del instante tres que es en donde comienza la tracción hacia adelante del cuerpo del robot, de ahí se repiten los instantes hasta el seis y esto ocurre hasta que sea determinada alguna acción de paro para dicha secuencia, en nuestro caso la acción de paro será el sensor de presencia al detectar una pared.

Al momento de detectar la pared, el pasará a la rutina de rotación de 180° para quedar totalmente en el sentido contrario en que inicialmente comenzó la caminata y comenzar el regreso, para esto se requiere de precisar la secuencia de rotación a realizar por el robot.

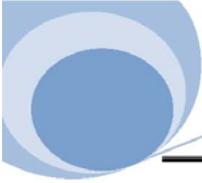


La secuencia completa se describe a continuación:

7.5.2 Secuencia de rotación

Al igual que en la secuencia de avance es necesario determinar la posición de cada servomotor en cada instante de la secuencia de locomoción de rotación La secuencia completa se describe a continuación:

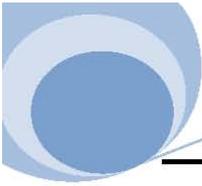
- Instante 1, el robot inicia el ciclo justo desde el último punto de la secuencia de desplazamiento (instante 6), esto es, las patas A, D y E se encuentran adelantadas, para esto A1, D1 y E1 están en posición de 45° hacia adelante, A2, D2 y E2 levantados 15° y A3, D3 y E3 cerrados hacia el cuerpo del robot aproximadamente 10° . Las patas B, C y F permanecen sobre la superficie manteniendo el equilibrio del robot y retrasadas 45° .
- En el instante 2, A, D y E regresan a hacer contacto con la superficie justo a los valores de la posición "0" solo que adelantados 45° . Las patas B, C y F permanecen sin cambio alguno.
- En el instante 3, las patas centrales son levantadas e invertidas, esto es, C1 se adelanta 90° y D1 se atrasa 90° mientras que tanto C2 como D2 son levantados 15° y C3 y D3 cerrados al cuerpo del robot 15° . Las patas A, B, E y F permanecen sin cambios sobre la superficie.
- En el instante 4, las patas centrales son bajadas, C1 permanece adelantado 90° y D1 atrasado 90° mientras que C2, D2, C3 y D3 son regresados a la posición "0". Las patas A, B, E y F permanecen sin cambios sobre la superficie.
- En el instante 5, todas las patas realizan el movimiento de arrastre, esto es, A1, C1 y E1 se retrasa 90° y B1, D1 y F1 se adelanta 90° . Los motores 2 y 3 de todas las patas permanecen en la posición "0", es decir sobre la superficie.



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

- En el instante 6, las patas A,D y E son levantadas, para esto A1,D1 y E1 permanecen sin cambio mientras que A2, D2 y E2 se levantan 15° y A3,D3 y E3 se cierran hacia el cuerpo del robot aproximadamente 10°. Las patas B, C y F permanecen sobre la superficie manteniendo el equilibrio del robot.
- En el instante 7, A y E son adelantadas y D atrasada, A1 y E1 se mueven 90° hacia adelante y D1 90° para atrás, A2, D2 y E2 permanecen 15° arriba y A3,D3 y E3 cerrados 10° hacia el cuerpo del robot aproximadamente. Las patas B, C y F permanecen sobre la superficie manteniendo el equilibrio del robot.
- En el instante 8, A, D y E regresan a hacer contacto con la superficie justo a los valores de la posición "0" solo que adelantados 45°. Las patas B, C y F permanecen sin cambio alguno.
- En el instante 9, las patas B, C y F son levantadas, para esto F1,C1 y F1 permanecen sin cambio mientras que B2, C2 y F2 se levantan 15° y B3, C3 y F3 se cierran hacia el cuerpo del robot aproximadamente 10°. Las patas A, D y E permanecen sobre la superficie manteniendo el equilibrio del robot.
- En el instante 10, las patas B, y F son atrasadas y C adelantada, para esto B1 y F1 se mueven 90° hacia atrás y C1 90° para adelante, los demás motores permanecen sin cambio. Es en este instante se puede repetir la secuencia desde el instante 3 para generar la secuencia cíclica de locomoción de rotación. Para obtener un giro de 180° se deberá estimar el número de veces que el robot deberá repetir dicha secuencia. Es probable que no se logre un giro exacto de 180° sin embargo puede aproximarse a dicho valor ajustando los valores de giro de los motores de avance.

En la figura 7.10 se muestra instante a instante dicha secuencia de locomoción:



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

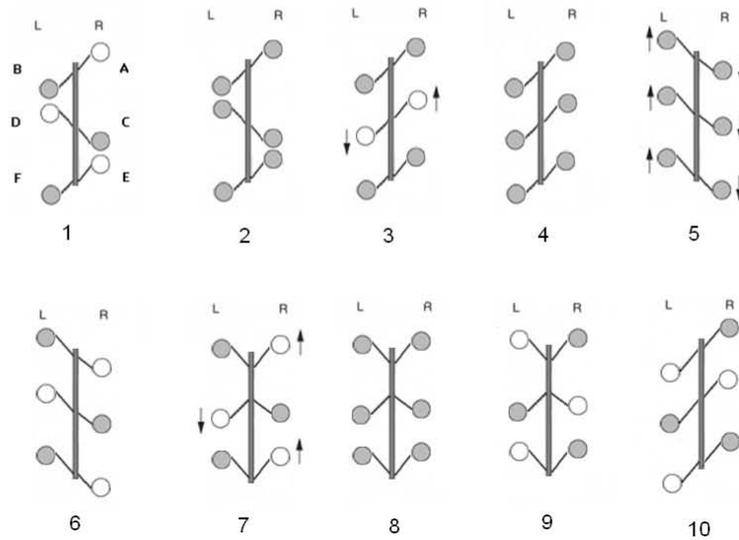
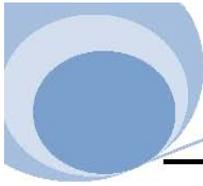


Figura 7.10 Secuencia de locomoción

La tabla 7.2 muestra 10 instantes con los ángulos de cada servomotor en los cuales se completa un ciclo, el cual al finalizar logrará dejar al robot en la posición correcta para comenzar a caminar la distancia de regreso donde comenzó el recorrido.



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

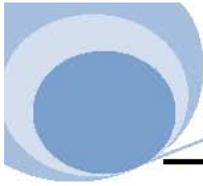
	Servo	Instante 1	Instante 2	Instante 3	Instante 4	Instante 5	Instante 6	Instante 7	Instante 8	Instante 9	Instante 10
PATA A	A1	0°	0°	0°	0°	90°	90°	0°	0°	0°	0°
	A2	15°	0°	0°	0°	0°	15°	15°	0°	0°	0°
	A3	100°	90°	90°	90°	90°	100°	100°	90°	90°	90°
PATA B	B1	-90°	-90°	-90°	-90°	0°	0°	0°	0°	0°	-90°
	B2	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	15°	15°
	B3	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	100°	100°
PATA C	C1	45°	45°	-45°	-45°	45°	45°	45°	45°	45°	-45°
	C2	0°	0°	15°	0°	0°	0°	0°	0°	15°	15°
	C3	90°	90°	100°	90°	90°	90°	90°	90°	100°	100°
PATA D	D1	45°	-45°	-45°	-45°	45°	45°	-45°	-45°	-45°	-45°
	D2	15°	0°	0°	0°	0°	15°	15°	0°	0°	0°
	D3	100°	90°	90°	90°	90°	100°	100°	90°	90°	90°
PATA E	E1	-90°	-90°	-90°	-90°	0°	0°	-90°	-90°	-90°	-90°
	E2	15°	0°	0°	0°	0°	15°	15°	0°	0°	0°
	E3	100°	90°	90°	90°	90°	100°	100°	90°	90°	90°
PATA F	F1	0°	0°	0°	0°	90°	90°	90°	90°	90°	0°
	F2	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	15°	15°
	F3	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	100°	100°

Tabla 7.2 Ángulos por instante de la secuencia de giro del robot hexápodo.

Con la determinación de los ángulos necesarios para la locomoción del robot hexápodo en cada instante del movimiento se ha dado un gran paso en la realización del programa pues resta transformar dichos valores en su equivalente señal de PWM que le corresponde a cada ángulo en cada servomotor y de esta manera mandar simultáneamente la señal a cada pata para lograr las posiciones del sistema que necesitamos.

7.5.3 Secuencia de locomoción en PWM

Los valores de PWM a programar para el avance "ideal" del robot hexápodo son los mostrados en la tabla 7.3:



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

	Servo	Posición 0	Instante 1	Instante 2	Instante 3	Instante 4	Instante 5	Instante 6
PATA A	A1	1.75 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	2.0 ms	2.0 ms	1.5 ms
	A2	1.5 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms
	A3	2.0 ms	2.1 ms	2.0 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	2.1 ms
PATA B	B1	1.25ms	1.25ms	1.25ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.0 ms
	B2	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms
	B3	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms
PATA C	C1	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.25ms	1.25ms	1.25ms	1.75 ms
	C2	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms
	C3	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms
PATA D	D1	1.5 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.25ms	1.25ms	1.75 ms
	D2	1.5 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms
	D3	2.0 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms
PATA E	E1	1.25ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.0 ms
	E2	1.5 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms
	E3	2.0 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms
PATA F	F1	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	1.5 ms
	F2	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms
	F3	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms

Tabla 7.3 Valores de PWM

Es importante hacer énfasis en la palabra "ideal" ya que en la práctica siempre es necesario ajustar valores y realizar correcciones, en este caso modificar los valores de PWM de los servomotores para equilibrar el movimiento del robot y hacer que camine lo más derecha posible. En las primeras pruebas de locomoción del robot su movimiento era muy cargado a la izquierda y con algunos problemas de estabilidad, tras realizar los ajustes necesarios se logro que el robot camine lo más derecho posible y sin problemas de estabilidad.

Con dichos cambios la tabla de programación queda como se observa en la tabla 7.4:



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

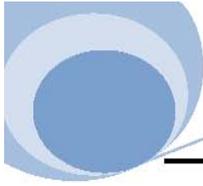
	Servo	Posición 0	Instante 1	Instante 2	Instante 3	Instante 4	Instante 5	Instante 6
PATA A	A1	1.7 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	1.5 ms
	A2	1.5 ms	1.6 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.5 ms	1.6 ms
	A3	2.0 ms	2.6 ms	2.5 ms	2.0 ms	2.0 ms	1.5 ms	2.0 ms
PATA B	B1	1.5ms	1.5ms	1.25ms	1.0 ms	1.5 ms	1.0 ms	1.0 ms
	B2	1.5 ms	1.5 ms	1.75 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.0 ms	1.0 ms
	B3	2.5 ms	2.5 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.6 ms	2.5 ms	2.0 ms
PATA C	C1	1.0 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.75ms	1.75ms	1.75ms	1.75 ms
	C2	1.0 ms	1.0 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.0 ms
	C3	2.5 ms	2.5 ms	2.0 ms	2.6 ms	2.6 ms	2.5 ms	2.5 ms
PATA D	D1	1.6 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.75 ms	1.75ms	1.75ms	1.25 ms
	D2	1.5 ms	1.6 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.5 ms	1.6 ms
	D3	2.5 ms	2.6 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.0 ms	2.6 ms
PATA E	E1	1.75 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.25 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.5 ms
	E2	1.6 ms	1.1 ms	1.1 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.5 ms	1.6 ms
	E3	2.5 ms	2.6 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.0 ms	2.0 ms	1.6 ms
PATA F	F1	1.25 ms	1.25 ms	1.25 ms	2.0 ms	2.5 ms	2.5 ms	1.5 ms
	F2	1.75 ms	1.75 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.75 ms	1.75 ms
	F3	2.5 ms	2.5 ms	2.0 ms	2.6 ms	2.6 ms	2.5 ms	2.0 ms

Tabla 7.4 Tabla de programación

En lo que se refiere al movimiento de giro cuando detecta la pared cabe mencionar que la secuencia se compone de 8 instantes un el ciclo, dicho ciclo tiene que repetirse 8 veces para lograr los 180° “idealmente”. Los valores de PWM que se utilizaron para lograr un giro de 180° “idealmente” son los mostrados en la tabla 7.5:

	Servo	Instante 1	Instante 2	Instante 3	Instante 4	Instante 5	Instante 6	Instante 7	Instante 8	Instante 9	Instante 10
PATA A	A1	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	2.0 ms	2.0 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms
	A2	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms
	A3	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms
PATA B	B1	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.5 ms	1.0 ms				
	B2	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms							
	B3	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms							
PATA C	C1	1.75 ms	1.75 ms	1.25ms	1.25ms	1.75 ms					
	C2	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms				
	C3	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms				
PATA D	D1	1.75 ms	1.25ms	1.25ms	1.25ms	1.75 ms	1.75 ms	1.25ms	1.25ms	1.25ms	1.25ms
	D2	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms
	D3	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms
PATA E	E1	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms
	E2	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms
	E3	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms
PATA F	F1	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	2.0 ms	1.5 ms				
	F2	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms							
	F3	2.0 ms	2.1 ms	2.1 ms							

Tabla 7.5 Tabla de programación para giro de 180°



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ROBOT PARA COMPETENCIA

Al igual que en la secuencia de avance frontal, a base de ajustes fue posible lograr una rotación lo más cercana a 180°, sin embargo siempre existen múltiples factores que alteran dicha secuencia, la tabla final con ajustes y correcciones del giro se muestran a continuación en la tabla 7.6:

	Servo	Instante 1	Instante 2	Instante 3	Instante 4	Instante 5	Instante 6	Instante 7	Instante 8	Instante 9	Instante 10
PATA A	A1	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.5 ms
	A2	1.1 ms	1.1 ms	1.1 ms	1.5 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.6 ms
	A3	2.6 ms	2.6 ms	2.6 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.1 ms
PATA B	B1	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.25 ms
	B2	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.6 ms
	B3	2.25 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.0 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.1 ms
PATA C	C1	1.25 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.25ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.75 ms	1.75 ms
	C2	1.75 ms	1.75 ms	1.6 ms	1.5 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.6 ms
	C3	2.25 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.75 ms	2.75 ms	2.75 ms	2.75 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.25 ms
PATA D	D1	1.25 ms	1.5ms	1.5ms	1.5ms	1.75 ms	1.75 ms	1.0ms	1.0ms	1.0ms	1.25ms
	D2	1.1 ms	1.1 ms	1.1 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.6 ms	1.6 ms	1.75 ms	1.75 ms
	D3	2.6 ms	2.6 ms	2.6 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.75 ms	2.75 ms	2.75 ms	2.25 ms
PATA E	E1	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.0 ms
	E2	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.5 ms	1.5 ms	1.1 ms	1.1 ms	1.1 ms	1.6 ms	1.6 ms
	E3	2.6 ms	2.6 ms	2.6 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.6 ms	2.6 ms	2.6 ms	2.0 ms
PATA F	F1	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.5 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.1 ms	2.1 ms	2.1 ms
	F2	1.25 ms	1.25 ms	1.25 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.75 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.0 ms	1.6 ms
	F3	2.5 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.25 ms	2.5 ms	2.5 ms	2.1 ms	2.1 ms

Tabla 7.6 Tabla de programación con correcciones