

# Inicialización de un robot humanoide tipo BIOLOID para tareas de caminado

## ***Antonio Benítez Ruiz***

Universidad Politécnica de Puebla, Departamento de Posgrado, Tercer Carril del Ejido Serrano S/N Juan  
C. Bonilla, Puebla, Teléfono: (01 222) 7 - 74 - 66 – 64  
*antonio.benitez@uppuebla.edu.mx*

## ***María Auxilio Medina Nieto***

Universidad Politécnica de Puebla, Departamento de Posgrado, Tercer Carril del Ejido Serrano S/N Juan  
C. Bonilla, Puebla, Teléfono: (01 222) 7 - 74 - 66 – 64  
*maria.medina@uppuebla.edu.mx*

## ***Jorge de la Calleja Mora***

Universidad Politécnica de Puebla, Departamento de Posgrado, Tercer Carril del Ejido Serrano S/N Juan  
C. Bonilla, Puebla, Teléfono: (01 222) 7 - 74 - 66 – 64  
*jorge.delacalleja@uppuebla.edu.mx*

## ***Emmanuel Baleón Flores***

Universidad Politécnica de Puebla, Departamento de Posgrado, Tercer Carril del Ejido Serrano S/N Juan  
C. Bonilla, Puebla, Teléfono: (01 222) 7 - 74 - 66 – 64  
*emmanuel.baleo@uppuebla.edu.mx*

## ***Carmina Cruz Ochoa***

Universidad Politécnica de Puebla, Departamento de Posgrado, Tercer Carril del Ejido Serrano S/N Juan  
C. Bonilla, Puebla, Teléfono: (01 222) 7 - 74 - 66 – 64  
*carmina.cruz@uppuebla.edu.mx*

## ***Ivonne López Cuacuas***

Universidad Politécnica de Puebla, Departamento de Posgrado, Tercer Carril del Ejido Serrano S/N Juan  
C. Bonilla, Puebla, Teléfono: (01 222) 7 - 74 - 66 - 64  
*Ivonne.lopez@uppuebla.edu.mx*

## Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo de rutinas de comportamiento reactivo para un robot humanoide con 16 articulaciones. Específicamente, esta enfocado a llevar a un robot humanoide a una configuración inicial que le permita poder ejecutar cualquier tipo de rutina de locomoción. Todos estos comportamientos dependen de la programación de servomotores así como del uso de un sensor de giro o giroscopio. Con este sensor se determina a través de un evento si el robot perdió la vertical y ha caído al piso, en cuyo caso ejecuta una rutina para llevar al robot nuevamente a una configuración que le permita continuar con su operación. El trabajo esta soportado en un proceso experimental para llegar a obtener un conjunto de parámetros que aseguran el buen funcionamiento de las rutinas, como son las velocidades de operación y valores que arroja el sensor de giro. Los resultados son muy satisfactorios tomando en cuenta que para los robots bípedos o humanoides es muy fácil que pierdan el equilibrio dadas las distintas rutinas de locomoción que se implementan y que provocan la caída del robot. Así, esta propuesta permite estar censando el estado del robot para que en cuanto éste caiga al suelo ejecute alguna de las dos rutinas de reincorporación propuestas.

**Palabra(s) Clave(s):** robótica reactiva, robots bípedos, sensores.

## 1. Introducción

La robótica reactiva es una corriente de la robótica que surgió en la década de los 80s, que permitió el incremento en la capacidad de reacción en los robots con características de computo reducidas [1]. Se denomina reactiva porque el robot no tiene un modelo del entorno, sino reacciona ante los estímulos de éste [2]. La robótica reactiva se caracteriza por lo siguiente:

- Las tareas se descomponen en pequeñas sub tareas llamadas comportamientos.
- Los comportamientos se procesan en paralelo.
- Los comportamientos compiten por el control de los actuadores.

- Existe un arbitraje que controla esta competencia.
- En muchos casos los comportamientos se pueden implementar con facilidad como autómatas de estados finitos.

Desde hace muchos años, se ha venido trabajando en el desarrollo de sistemas robóticos con características humanas, esto es, robots que puedan ejecutar comportamientos parecidos a los que los seres humanos son capaces de hacer. Así, diferentes empresas dedicadas al desarrollo de estos robots han puesto a disposición de estudiantes e investigadores diferentes plataformas de robots humanoides o robots bípedos. Estas plataformas varían de manera significativa en sus funcionalidades y capacidades, las cuales dependen directamente de los sensores que se incorporan a ellas y el costo asociado.

Sin duda, uno de los retos principales de los investigadores dedicados a este tipo de robots consiste en contar con rutinas asociadas al caminado bípedo de estos robots. Sin embargo, para poder desempeñar esta actividad es necesario colocar al robot en cierta configuración inicial, esto es, que el robot este de pie y listo para caminar.

Hoy en día, los robots bípedos empiezan a jugar un papel muy importante en el desarrollo de aplicaciones capaces de interactuar con seres humanos. Por esta razón, una de las aplicaciones que empiezan a tomar fuerza son las relacionadas con rutinas de rehabilitación, específicamente rutinas que permitan la interacción entre robots y niños, buscando que el robot se convierta en un instrumento de ayuda en distintas actividades que apoyen la educación y rehabilitación de los niños.

El presente trabajo tiene como objetivo llevar al robot humanoide a una configuración inicial. Esta configuración consiste en colocar al robot de pie con la posición de las articulaciones de tal manera que pueda desempeñar la tarea de caminado o algún otro comportamiento. Para poder llevar al robot a esta configuración, es necesario considerar que el robot al ejecutar algún comportamiento, cualesquiera que este sea, el robot puede caer al suelo, ya sea en una posición boca arriba (decúbito prono) o boca

abajo(decúbito dorsal). Así, parte del trabajo presenta como levantar al robot para poder llevarlo a la configuración inicial deseada.

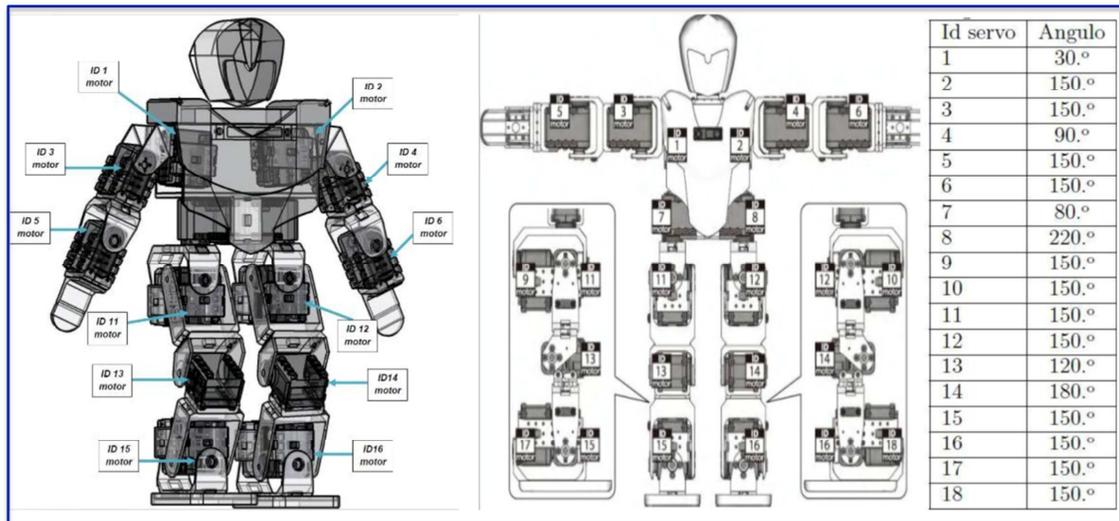
Es importante decir que este proyecto involucra elementos de hardware como son la calibración y configuración de los motores y sensores que forman la estructura del robot [2]; y por otro lado, elementos de software que permiten el desarrollo y programación de rutinas que controlan el buen funcionamiento de los elementos electrónicos y mecánicos [7].

Este proyecto se desarrolló utilizando una plataforma de robots bípedos llamada BIOLOID – Premium Kit [9]. Esta arquitectura cuenta con 18 servomotores distribuidos en las articulaciones que asemejan un cuerpo humano como se muestra en la Figura 1.

## **2. Desarrollo**

### **2.1. Preliminares**

Un actuador es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” hacia otro dispositivo mecánico [3]. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza del actuador, éste se denomina “actuador neumático”, “actuador hidráulico, o “actuador eléctrico”.



**Fig. 1. Distribución de servomotores en robot humanoide con 16 articulaciones y su configuración inicial incluyendo los valores para cada servomotor.**

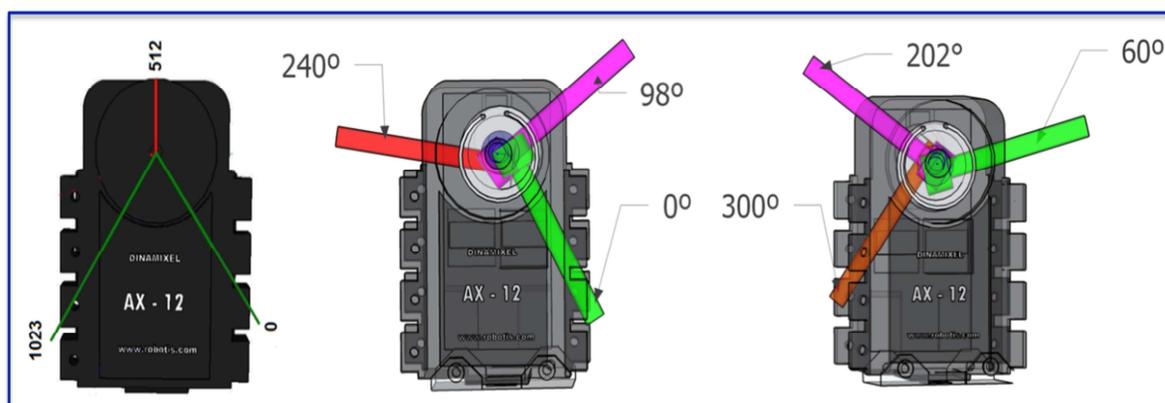
### 2.1.1. Servo

Un servo cuenta con un encapsulado electrónico y se define como un motor de corriente directa, principalmente se utiliza para el modelado de aviones, carros y barcos. Un servo está compuesto por tres cables: alimentación, tierra y señal de control [8]. La señal utilizada por los servos siempre tiene una frecuencia de 50 Hz y sus pulsos son generados cada 20 ms. El tamaño de cada pulso especifica la posición deseada para mover el servo, tanto los servos y los motores a pasos implementan algunas soluciones para las tareas realizadas en la robótica.

### 2.1.2. Servomotor Dynamixel AX-12+

El servomotor Dynamixel AX-12+ es un actuador inteligente que tiene incorporado un reductor de engranes, un motor de precisión DC y circuitos de control con

funcionamiento en red. Pueden estar conectados hasta 254 Dynamixel AX-12+ en serie a la Dual-POB con un solo cable, también tienen la capacidad de ser conectados uno a otro para crear cadenas de servomotores (Daisy-Chain), el cable soporta una transmisión de 1M BPS. La velocidad y la posición del servomotor está controlada con una resolución de 1024 pasos. Posee pruebas de retroalimentación con capacidad de reconocer la posición angular, la velocidad angular y la carga de torque válido. En la figura 2, se muestran los rangos de movimiento para el dynamixel AX-12 [9,10,11].



**Fig. 2. Cada servomotor sigue la siguiente configuración: tiene un rango de movimiento de 0 a 300 grados ó de 0 a 1024 pasos (lado izq.); cada articulación se configura de manera diferente (indicador verde: rango mínimo de movilidad; indicador rojo: rango máximo e indicador lila; posición actual).**

### 2.1.3. Sensores

Los sensores trasladan la información desde el mundo real al mundo abstracto de los micro controladores. En general, la mayoría de los sensores pueden ser divididos en dos grandes grupos: sensores analógicos y sensor digitales [5].

### 2.1.4. Sensor de giro o giroscopio

La definición de giroscopio fue impuesta en el año de 1851 por el historiador Michel Foucault, que intentó demostrar la rotación de la tierra [5,6]. “un giroscopio consiste en un rotor montado en un conjunto de anillos de cardan o balancines”, Un giroscopio

actúa con dos fuerzas las cuales son la fuerza gravitacional con dirección hacia arriba y la fuerza gravitacional con dirección hacia abajo con el centro de giro punto 0 [12].

El robot utilizado en este proyecto incorpora con un sensor de giro. Este sensor cuenta con 2 ejes (**X** y **Y**), el eje **X** determina la velocidad angular aplicada en el frente o en la parte trasera del robot; y el eje **Y** determina la velocidad angular aplicada en la parte izquierda o derecha del robot. Utilizando los ejes **X** y **Y** se puede identificar la inclinación del robot o la dirección que este consumiendo mayor potencia. Otra de las funcionalidades del sensor de giro es la implementación en el equilibrio para tareas de caminado.

## **2.2. Metodología**

El proyecto se modeló a través de un diagrama de estados los cuales son: *conocer la velocidad angular, identificar posición* (decúbito prono o decúbito dorsal), *reincorporación a configuración inicial, caminar con dirección hacia atrás*. En la figura 3, se muestra un diagrama que ilustra cada uno de los eventos y estados con los que el robot reaccionará.

### **2.2.1. Censando de la posición angular**

Para realizar esta actividad, es necesario utilizar el giroscopio en el rango de resultados que arroja el giroscopio cuando el robot se encuentra en la configuración inicial, la cual es en el eje **X** (250 - 240) y en el eje **Y** (250 - 240). En base a un proceso de experimentación, se desean establecer cuáles son los rangos de los ejes **X** y **Y** que permitan identificar si el robot está cayendo y hacia qué dirección. Se hicieron cincuenta mediciones de los ejes **X** y **Y** por cada movimientos que realice el robot y la rutina de identificación de posición dará inicio para pasar al estado de identificando posición.

### 2.2.2. Identificando la posición y reincorporación

En este estado, es necesario identificar cuál es la posición del robot, se tiene que identificar si el robot se encuentra en el piso boca abajo o boca arriba. Esto permite determinar qué comportamiento necesita ejecutar el robot para regresar a su configuración inicial.

La información obtenida por el giroscopio será comparada con los rangos que se establecerán para los ejes ( X y Y ). Si la información del giroscopio supera los rangos permitidos, entonces se establece que el robot tiene una inclinación para cierto lado (izquierda, derecha, enfrente o atrás). Conociendo la inclinación del robot, se determina en que posición cayó (boca arriba o boca abajo) y se activa la rutina de reincorporación necesaria para llevarlo a la configuración inicial.

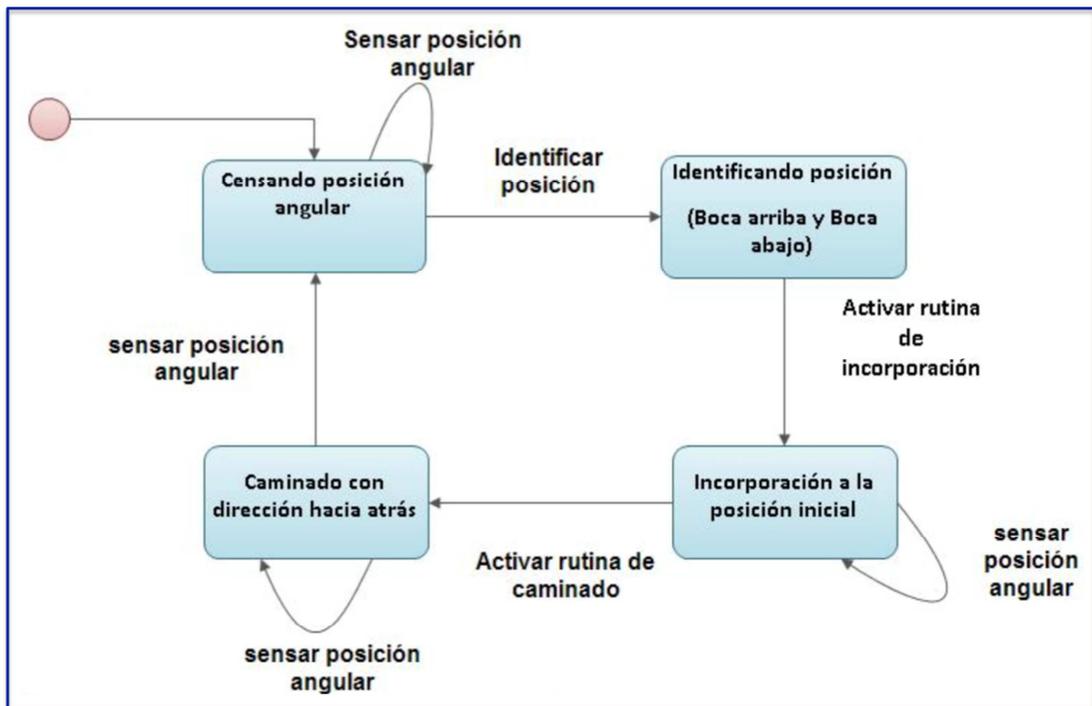


Fig. 3. Diagrama de estados para los distintos comportamientos que ejecutará el robot.

Para poder llevar el robot a la configuración inicial, es necesario la coordinación de los servomotores para ejecutar la rutina de reincorporación. Teniendo definida la posición en la que el robot cayó, se ejecuta la rutina de reincorporación.

### **2.2.3. Caminado hacia atrás**

Se implemento un comportamiento de caminado hacia atrás con el objetivo de probar las rutinas de reincorporación. Mientras el robot ejecuta las secuencias necesarias para ejecutar el caminado hacia atrás, cada movimiento pasa por el estado de censando posición angular y a su vez, se activa el estado identificando posición. Si el movimiento realizado por el robot provoca una caída, entonces se ejecutará la rutina de reincorporación hacia la configuración inicial. En caso de que no se ejecute el estado de reincorporación, se determina que se tiene un caminado limpio, es decir, sin caídas o interrupciones.

## **2.3. Implementación de rutinas**

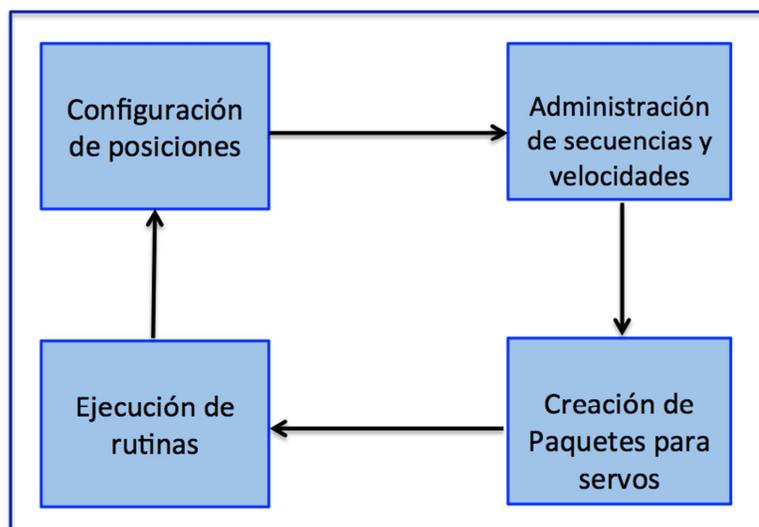
Ya que uno de los principales problemas de los robots bípedos es mantenerse en equilibrio, el implementar comportamientos en el robot puede generar la pérdida del equilibrio. Por esta razón, es necesario identificar las posiciones en los servos que brinden mayor estabilidad en el robot, así como las velocidades a las que se ejecutará cada movimiento, para que cuando el robot pierda el equilibrio se pueda identificar hacia que dirección está cayendo (hacia el frente o hacia atrás) y qué rutinas se ejecutarán para reincorporarlo.

### **2.3.1. Proceso general de movimiento del robot humanoide**

Cada movimiento del robot está sujeto a cuatro tareas, si alguna de estas tareas no es completada, el movimiento no se realizará. Las tareas a ejecutar son presentadas en la figura 4.

En el proceso de configuración de posiciones es donde se introducen los ángulos para cada servomotor. Estos ángulos se almacenan en una matriz de 18 columnas (dado que son 18 servos en el robot) y de un número indefinido de filas (tantas como secuencias se deseen enviar al robot). Cabe aclarar que cada fila es una postura que toma un servomotor y una secuencia (ó comportamiento) está formada por una o varias filas.

El proceso de administración de secuencia y velocidades, permite determinar cuántos movimientos se necesitan hacer para ejecutar una secuencia. En este proceso también se controla la velocidad global (aplicada a todos los servos) y la velocidad independiente (para cada servo). Por último, en esta parte se transforman los ángulos en pasos (recordar que los servomotores se manejan en pasos y no en ángulos).



**Fig. 4. Diagrama del proceso general para la generación de movimientos en el robot.**

La creación de paquetes es un proceso que permite preparar un conjunto de instrucciones que integran la velocidad y la posición que se desea que tome cada servomotor. Este proceso es necesario para controlar los movimientos síncronos entre los servomotores.

En el proceso de *ejecución de rutinas*, se leen los paquetes recibidos y se ejecutan las instrucciones que contiene cada paquete. Este proceso lo ejecuta de forma interna cada dinamixel AX-12.

### **2.3.2. Control de las velocidades**

El control de la velocidad depende del movimiento que se busca desde la posición actual hacia la posición deseada. El diagrama de la figura 5, muestra el proceso en el cuál se asigna la velocidad. Cada movimiento realizado por el robot pasa por este proceso. La velocidad permite controlar la transición de los movimientos de la posición inicial a la posición deseada de forma que no afecte el equilibrio del robot.

El intervalo permitido para la velocidad de cada servomotor esta en el rango de [0 a 1023] y cada unidad es proporcional a 0.111 rpm (revoluciones por minuto). Si el valor que ingresa es 0, indica que no existe un control de la velocidad y se utiliza la máxima. Si se ingresa un valor de 1023, éste es equivalente a 114 rpm. Las pruebas iniciales en este proyecto se hicieron con los valores de 120 como velocidad global y 60 como velocidad independiente, esto equivale a 13.32 rpm y 6.66 rpm. Es recomendable no utilizar la velocidad máxima, ya que esto provocaría que el servomotor se pueda quemar. De forma general, la velocidad máxima utilizada en este proyecto es de 200 (22.2 rpm) y la velocidad mínima es de 15 (1.665 rpm).□

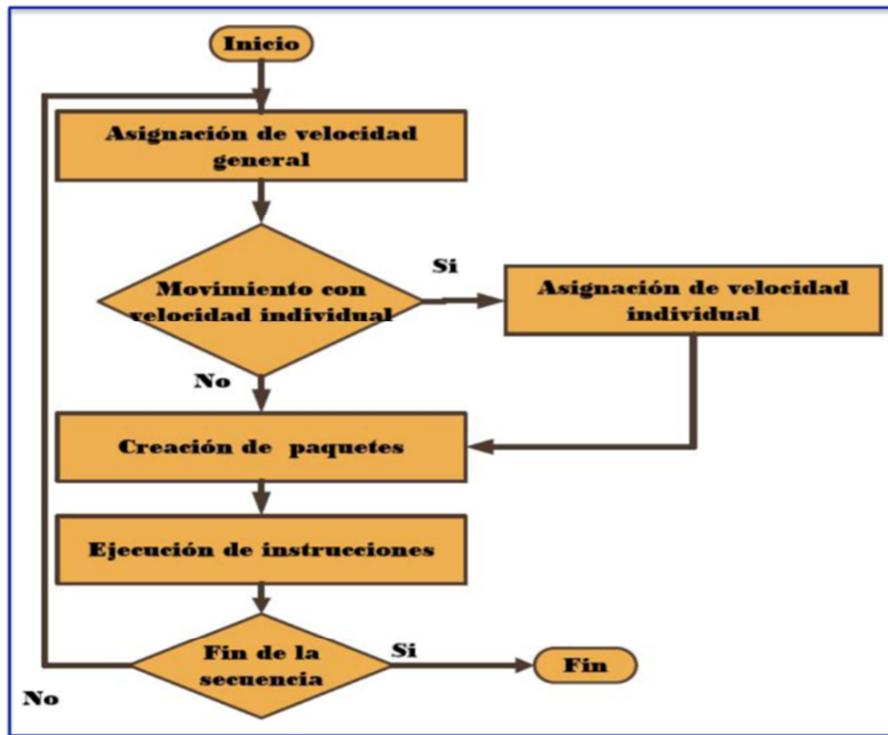


Fig. 5. Diagrama para la configuración de velocidad de operación de los servomotores.

### 2.3.3. Configuración de reincorporación

Las rutinas de reincorporación permiten al robot humanoide pasar de la posición decúbito prono o decúbito dorsal a la configuración inicial. En la figura 6, se presenta el diagrama del proceso de la reincorporación.

Después de un proceso de experimentación, se encontraron los siguientes valores permitidos de inclinación para el robot, mismo que se presentan en la Tabla 1.

Completada la ejecución de la rutina de reincorporación, el robot continua con la rutina de locomoción que estaba ejecutando hasta antes de perder el equilibrio y caer. Cada movimiento sucesivo seguirá siendo censado a través del giroscopio si es necesario ejecutar nuevamente la rutina de reincorporación.

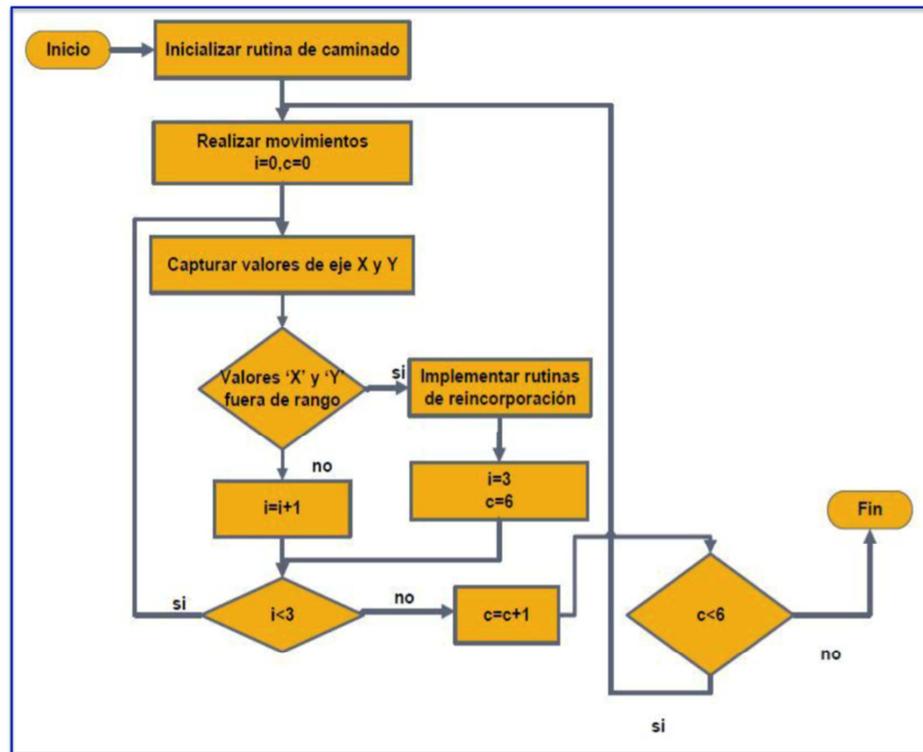


Fig. 6. Diagrama de flujo para la reincorporación del robot hacia la configuración inicial.

En este proyecto la rutina de locomoción utilizada consiste en desplazar al robot hacia atrás utilizando pasos pequeños (caminado con dirección hacia atrás) y por cada paso que el robot ejecuta se revisa la inclinación que registra el sensor de giro.

### 2.3.4. Reincorporación decúbito prono

La rutina de reincorporación decúbito prono está formada por 8 posiciones, mismas que se presentan en la tabla 2. Además, en la figura 7, se muestran las 8 posiciones necesarias para reincorporar al robot.

La velocidad general que maneja la rutina es de 200 (22.2 rpm) y las velocidades independientes se aplican en los dos últimos movimientos, los cuales llevan al robot a la configuración inicial. La Tabla 2, muestra la relación entre los servomotores y las velocidades independientes.

Eje X	Eje Y	Posición
X < 215	*	Decúbito Prono
X > 292	*	Decúbito Dorsal
*	Y < 208	Decúbito Dorsal
*	Y > 292	Decúbito Dorsal
X > 208 & X < 292	Y > 208 & Y < 292	Configuración inicial

Tabla 1. Valores permitidos de inclinación para el robot.

### 2.3.5. Reincorporación decúbito dorsal

El principal objetivo de esta rutina es girar al robot llevándolo de la posición decúbito dorsal a la posición decúbito prono, y utilizar parte de la rutina de reincorporación de cubito prono. La rutina de decúbito dorsal tiene una velocidad general de 100 (11.1 rpm) y la velocidades independientes de esta rutina son las mismas implementadas en la rutina decúbito prono, esta información se presenta en la tabla 2.

Decúbito prono				Decúbito dorsal			
Posición	Id servomotor	Velocidad	RPM	Posición	Id servomotor	Velocidad	RPM
6	11	70	7.77	1	9	100	11.1
	12	70	7.77		10		
	13	15	1.665		11		
	14	15	1.665		12		
	15	15	1.665		13		
	16	15	1.665		14		
Configuración inicial	1	70	7.77	2	15	70	7.77
	2	70	7.77		16		
	11	65	7.215		17		
	12	65	7.215		18		
	13	50	5.55		9		
	14	50	5.55		10		
Configuración inicial	15	35	3.885	3	11	100	11.1
	16	35	3.885		12		
					13		
					14		
					15		
					16		
Configuración inicial				4	17	100	11.1
					18		
					9		
					10		
					11		
					12		
Configuración inicial				5	13	70	7.77
					14		
					15		
					16		
					17		
					18		
Configuración inicial				6	9	100	11.1
					10		
					11		
					12		
					13		
					14		

Tabla 2. Velocidades y revoluciones por minuto independientes para las rutina de decúbito prono y decúbito dorsal.

### **2.3.6. Rutina de caminado con dirección hacia atrás**

El caminado con dirección hacia atrás está formado con seis posiciones que son equivalente a 2 pasos (uno izquierdo y uno derecho). Para ejecutar más pasos, se introduce esta secuencia en un ciclo dependiendo de la distancia que se necesite recorrer. Esta rutina manejan una velocidad general de 100 (11.1 RPM) y se aplican velocidades independientes para todo los movimientos.

## **3. Resultados**

De manera general, los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto fueron satisfactorios y se presentan en las subsecciones siguientes.

### **3.1. Medición de inclinación de robot**

Los valores calibrados del giroscopio son utilizados exclusivamente para la rutina de caminado con dirección hacia atrás, por lo que si se desea implementar para alguna otra rutina es necesario recalibrar los valores.

Por otra parte, cada vez que se rebasan los valores del eje “Y” la caída esperada es del lado izquierdo si su valor es menor de 210, o del lado derecho si su valor es mayor de 290. Por cada 20 caídas del lado izquierdo o derecho, 19 de ellas terminaron en la posición decúbito dorsal, por este motivo en el eje “Y” siempre que los valores salga de los rango presentados en la tabla 2, se ejecutará la rutina de reincorporación decúbito dorsal.

Para mejorar la velocidad y estabilidad de la rutina de caminado con dirección hacia atrás las capturas del giroscopio se redujeron de 5 a solo 3 capturas por movimiento. En total, por cada dos pasos que el robot ejecuta, el giroscopio captura 18 veces los valores de los ejes “X” y “Y”.

### 3.2. Rutinas de reincorporación de decúbito prono y decúbito dorsal

La rutina de reincorporación de decúbito prono presenta inestabilidad en la cancha de futbol y lo hace caer antes de reincorporarse, por este motivo la rutina fue modificada. De esta manera se le hicieron más de 50 modificaciones. La figura 7, muestra las posturas que toma el robot para la reincorporación con la rutina de cúbite prono.

La rutina de reincorporación de decúbito dorsal contiene parte de la rutina de cubito prono, por este motivo fueron aplicadas las mismas correcciones para mejorar el desempeño de la misma. La velocidad general implementada en esta rutina esta en el rango de 100 (11.1 rpm) a 200(22.2 rpm). Las velocidades independientes implementadas son las mismas que las consideradas en la rutina de decúbito prono. La rutina ejecuta los 10 movimientos con la velocidad de 200 (22.2 rpm) en un tiempo aproximado de 18 segundos. La secuencia de estos movimiento se puede ver en la figura 8.

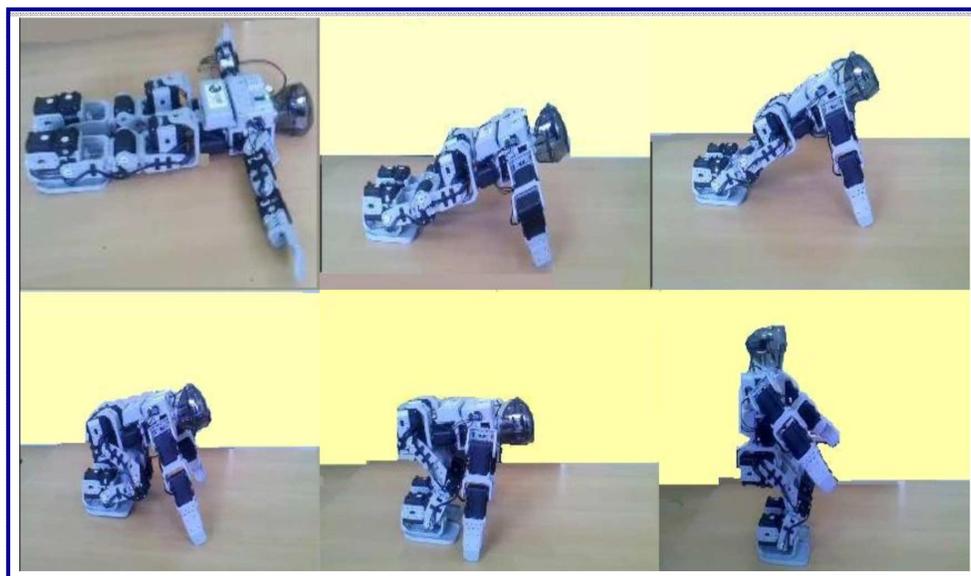


Fig. 7. Secuencia de movimientos para la rutina de reincorporación de decúbito prono

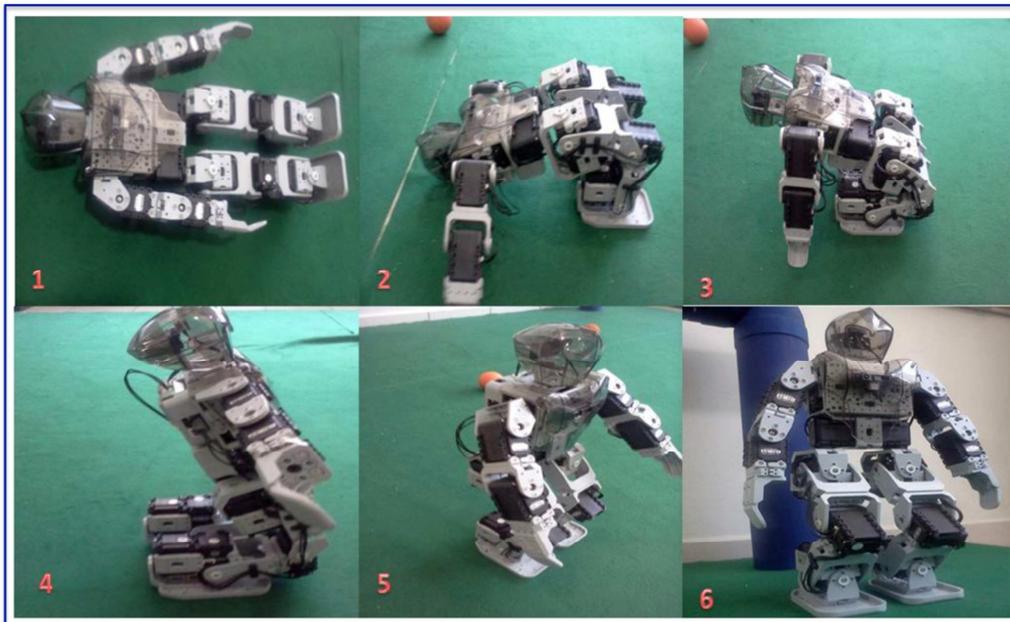


**Fig. 8. Secuencia de 10 movimientos para la rutina de reincorporación de decúbito dorsal.**

Por otra parte, la rutina presenta dos inconvenientes que afectan al robot y a la ejecución de la reincorporación. El primer inconveniente es el movimiento de la posición 3 a la posición 4, este movimiento implica una demanda excesiva en la fuerza de los servos 4 y 10 que cargan al robot para lograr la transición de la posición decúbito dorsal a la decúbito prono, por lo que el uso excesivo de esta rutina puede llegar a afectar a estos dos servomotores. El segundo inconveniente es el número excesivo de movimientos hace lenta la reincorporación. Por esta razón, se decidió generar una nueva rutina de reincorporación llamada decúbito dorsal-B, la cuál permitirá mejorar el tiempo de ejecución y evitar el desgaste de los servomotores.

La rutina de reincorporación de decúbito dorsal-B está formada por seis posiciones, tiene un desempeño estable utilizando una la velocidad general en un rango de 100 (11.1 rpm) a 200 (22.2 rpm).

En la figura 9, muestra las 6 posiciones con las que está conformada la rutina de reincorporación de cubito dorsal-B. Así mismo las velocidades independientes son implementadas para la posición 4,5.



**Fig. 9. Secuencia de movimientos para la rutina de reincorporación de decúbito dorsal-B.**

Se debe agregar que la rutina de reincorporación decúbito dorsal-B ejecuta el total de sus movimientos en un tiempo aproximado de 11.045s, lo que indica que es un 62.36 % más rápida que la rutina de reincorporación decúbito dorsal. La efectividad que presenta esta rutina es de un 92%. De las 50 pruebas realizadas solo en cuatro ocasiones el robot no logro llegar a la configuración inicial.

La rutina de caminado con dirección hacia atrás, presenta inestabilidad durante su ejecución. En 20 pruebas desarrolladas el robot se cayó en 19 ocasiones, la distancia aproximada que recorre por cada 20 pasos es de 15 cm en un tiempo aproximado de 30 segundos. La rutina de caminado hacia atrás se sometió a más de 100 modificaciones que permitieron obtener una rutina con mayor estabilidad en el caminado y disminuir los tiempos de ejecución de la misma.

Con los cambios realizados de la rutina de caminado con dirección hacia atrás, por cada 20 pasos que el robot ejecuta la distancia que recorre aproximadamente es de 89cm en un tiempo de 1.14 minutos. En 20 pruebas realizadas de la rutina de caminado con dirección hacia atrás solo en una ocasión el robot tuvo una caída.

Las modificaciones implementadas para la rutina de caminado hacia atrás hicieron que el desempeño de la rutina mejorará. Antes de la modificaciones el riesgo de que el robot callera era de un 95%, con las modificaciones implementadas el porcentaje decremento a un 5 % y la distancias que recorre el robot a mejor-o en un 240.5 %.

#### **4. Conclusiones**

En este proyecto se desarrollaron rutinas que permiten la reincorporación de un robot humanoide utilizando un giroscopio para identificar la inclinación del robot. El objetivo principal es desarrollar rutinas de caminado hacia atrás, identificar si durante la rutina de caminado existe alguna caída, entonces reincorporar al robot y seguir con la rutina de caminado hacia atrás.

Las rutinas de reincorporación son parte esencial para la implementación de otras rutinas de movimiento, principalmente rutinas donde intervengan las piernas del robot. Es importante mencionar que cualquier movimiento implementado sobre las piernas del robot, afectará directamente al centro de masa del mismo. Además, el método implementado para medir el desequilibrio del robot es rápido, lo que permite tener un control constante sobre el equilibrio del robot.

Las rutinas de reincorporación son una opción para corregir los errores ocurridos en rutinas implementadas sobre las piernas, si bien no previenen la caída del robot, si permite que el robot regrese a su configuración inicial y pueda ejecutar alguna otra rutina. □

Por otra parte, el caminado es una de las rutinas que presenta más inestabilidad y siempre dependerá de la superficie donde el robot ejecute el caminado. La rutina de caminado desarrollada durante el proyecto consta de seis movimientos, si embargo, si esos seis movimientos se dividieran en mas sub movimientos y se disminuyera el tiempo entre las pausas, se podría aumentar la velocidad sin que esto afecte al centro de masa del robot. Cada movimiento que el robot ejecuta en la rutina de caminado es

monitoreado por el giroscopio en tres ocasiones, lo cual permite tener un rango aproximado de medición de 0.8 segundos. Sin embargo, la implementación del giroscopio tiene algunas limitantes que pueden ser eliminadas con la ayuda de otros sensores, tal como acelerómetros, sensores de presión, cámaras, sensores de proximidad, etc.

Este trabajo es el punto de partida para dotar al robot de comportamiento o rutinas de locomoción mas complejas y con cierto grado de inteligencia [4], por ejemplo: comportamientos propios de un jugador de fut-bol como portero, tiro a gol, seguimiento de una pelota, localización de porterías ó rutinas de rehabilitación motriz. Todos estos comportamientos requieren que el robot los ejecute estando de pie. Por otro lado, es importante decir que se han estado desarrollando diferentes comportamientos en paralelo a este trabajo y en todos ellos se están utilizando las rutinas de reincorporación del robot. Algunos videos de este trabajo se pueden ver en [13].

## **5. Referencias**

- [1] Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo, *Robotics Modelling*. 1° Edición. 2009. Planning and Control. Springer.
- [2] T. Brain, *Embedded Robotics Mobile Robot Design and Application with Embedde Systems*. Tercera Edición. 2008. Springer.
- [3] J. Roldan Viloría, *Arranque y protección de motores trifásicos*. Tercera Edición. 2005. Thomson.
- [4] Brooks A. Rodney, "Intelligence without representation". Vol. 545. No. 47. 1991. 139 – 159 pp.
- [5] Gonzales Arjona Davis, *Sensores*. Universidad Autónoma de Madrid.
- [6] Figueroa Medina Luis Enrique, "Simulación de comportamiento para robots humanoides en un juego de futbol". CINVESTAV, IPN. 2011.

- [7] Baleón Flores E, Benitez Ruiz A, Inicialización de un robot bípedo para tareas de caminado. Reporte Técnico "PII-51-08-12". Universidad Politécnica de Puebla. 2012.
- [8] Actuadores. Soltex Chile S.A.
- [9] ROBOTIS, API Reference. [http://support.robotis.com/en/software/dynamixel\\_sdk/api\\_reference.htm/](http://support.robotis.com/en/software/dynamixel_sdk/api_reference.htm/). Septiembre, 2013.
- [10] Dinamixel AX-12, ROBOTIS User Manual. <http://support.robotis.com/en/>. Septiembre, 2013.
- [11] Giro Sensor, ROBOTIS User Manual. <http://support.robotis.com/en/girosensor>. Septiembre, 2013.
- [12] Referencias de videos de reincorporación del robot. <https://www.youtube.com/watch?v=8vHo-Frveml>.

## **6. Autores**

El Dr. Antonio Benitez Ruiz realizó el Doctorado en Ciencias de la Computación y la Maestría en Ciencias Computacionales en la Universidad de las Américas Puebla ([UDLAP](#)). Es egresado de la Licenciatura en Computación de la Facultad de Ciencias de la Computación ([FCC](#)) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Su trabajo de investigación está relacionado con las áreas de robótica reactiva, algoritmos de planificación de movimientos, graficación por computadora e interacción humano - robot. Cuenta con reconocimiento a Perfil Deseable del PRODEP desde 2007.

La Dra. María Auxilio Medina Nieto realizó el Doctorado en Ciencias de la Computación y la Maestría en Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). Es egresada de la Licenciatura en Computación de la Facultad de Ciencias de la Computación (FCC) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). La Dra. Medina ha participado en proyectos relacionados con agentes, bibliotecas digitales, bases de datos y redes sociales; cuenta con el reconocimiento a perfil deseable de PRODEP desde 2005. Es miembro nivel candidato del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Actualmente, su investigación está dirigida a temas como web semántica, representación del conocimiento a través de

ontologías, tecnologías de la información y comunicación (TICs), e interacción humano – computadora.

Dr. Jorge de la Calleja Mora realizó el Doctorado en Ciencias Computacionales y la Maestría en Ciencias Computacionales en INAOE. Es egresado de la Licenciatura en Computación de la Facultad de Ciencias de la Computación (FCC) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Su trabajo de investigación está relacionado con las áreas de Aprendizaje Automático y Visión por Computadora. Cuenta con reconocimiento a Perfil Deseable del PRODEP desde 2007.

El Ing. Emmanuel Baleón Flores, la Ing. Carmina Cruz Ochoa y la Ing. Ivonne López Cuacuas. Son egresados de la Ingeniería en Informática de la Universidad Politécnica de Puebla (UPPue). Actualmente son estudiantes de la Maestría en Ingeniería en Sistemas y Cómputo Inteligente. Sus áreas de interés son Aprendizaje Automático, Visión por Computadora y Robótica Reactiva.