

# CONTROL DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA BÍPEDA

Lara Chiriboga Jorge  
jllrey2005@yahoo.com  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito - Ecuador

Loor Fonseca Osmith  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito - Ecuador

Sotomayor Nelson  
nelsons@mailfie.epn.edu.ec  
Escuela Politécnica Nacional  
Quito - Ecuador

## RESUMEN:

El presente proyecto desarrollo el control de una plataforma robótica bípeda autónoma, que es capaz de realizar movimientos de avance, es decir el robot posee la habilidad de andar de forma repetitiva. El robot bípedo se compone de 7 grados de libertad (GDL), de los cuales 1 GDL corresponden a cada una de las patas y los otros al resto del cuerpo. Para la obtención de estos movimientos se implemento un sistema de control, que permite al robot moverse libremente en su ambiente de trabajo. El robot tiene dos modos de operación, manual a través de un control remoto infrarrojo con el cual se le envía 14 comandos para su movimiento; o autónomo, en el cual el robot es capaz de evadir obstáculos.

La plataforma bípeda empleo como elemento inteligente un microcontrolador PIC 16F877A trabajando en modo extendido, el mismo que realiza el control integral de la plataforma, verifica la posición de brazos, piernas y el estado del robot con respecto a su alrededor por medio de sensores; además se encarga de decodificar las ordenes emitidas por el control remoto, con lo cual la interrelación entre el usuario y la plataforma robótica es completa.

## 1. RECONOCIMIENTO DE LA PLATAFORMA ROBÓTICA BÍPEDA

### 1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PLATAFORMA MÓVIL

La plataforma bípeda utilizada consta de siete grados de libertad (7 GDL); uno en cada brazo, un GDL en cada muñeca, otro en la cintura y dos más, uno en cada pata. En la Figura 1.2 se muestran los grados de libertad que tiene la plataforma bípeda utilizada en el presente proyecto.

Todos estos grados de libertad que posee el robot sirven para realizar los movimientos que

son establecidos por el usuario mediante la utilización del control remoto.

Los grados de libertad que posee la plataforma bípeda utilizada son generados mediante dos engranajes perfectamente diseñados; donde el eje de uno de ellos es movilizado por un pequeño motor DC. Dichos engranajes se encuentran acoplados de tal forma que generen tanto el movimiento vertical como el horizontal necesario.

La plataforma bípeda al no tener un grado de libertad en la mitad de la pata para que trabaje como rodilla no puede alzar la pata y así pasar obstáculos.

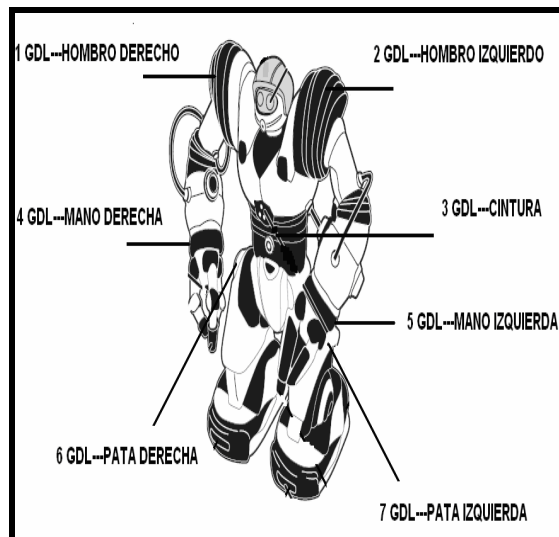


Figura 1.2 Plataforma bípeda y sus grados de libertad

### 1.3. GRADOS DE LIBERTAD EN LOS BRAZOS

Permiten que el robot pueda movilizar el brazo derecho e izquierdo para arriba y para abajo según el comando enviado por el usuario. Para este movimiento el motor DC de cada hombro se encuentra acoplado al eje de un engrane horizontal que al moverse acciona el engrane

vertical necesario para el movimiento. Dichos movimientos se pueden observar en la Figura 1.3.



Figura 1.3 Movimientos de los brazos

#### 1.4. GRADOS DE LIBERTAD EN LAS MANOS

Los grados de libertad de las manos le permiten a la plataforma bípoda moverlas hacia dentro o hacia fuera tomando como eje una unión existente en el brazo que equivale al codo del mismo. Dicho movimiento puede realizarse tanto en la mano derecha como en la izquierda; y para conseguirlo el robot tiene un motor DC que acciona un engrane acoplado directamente a la unión interna existente en el brazo.

Cuando el movimiento es hacia fuera la mano se abre, y se cierra si el movimiento es para dentro (ver Figura 1.4).



Figura 1.4 Movimiento de las manos

#### 1.5. GRADO DE LIBERTAD EN LA CINTURA

En primera instancia este movimiento de la cintura servía para que el robot pueda inclinar su dorso hacia la derecha o izquierda sin necesidad de movilizar sus patas; sin embargo, esta habilidad se constituyó en una secuencia muy importante en la rutina de caminar ya que en la programación se establece un movimiento rápido de la cintura para que la plataforma bípoda pueda movilizarse.

El máximo desplazamiento del dorso tanto para la derecha como para la izquierda está dado por una condición de construcción del robot más que por finales de carrera o tiempo.

Dichos movimientos de la cintura se pueden apreciar en la Figura 1.5



Figura 1.5 Movimiento de la cintura

#### 1.6. GRADOS DE LIBERTAD EN LAS PATAS

Dichos grados de libertad sirven para que la plataforma robótica pueda movilizarse para el

frente y para atrás (ver Figura 1.6) de su trayectoria. Para generar este movimiento cada una de las patas tiene un conjunto de engranajes de plástico que son accionados por un motor de DC.

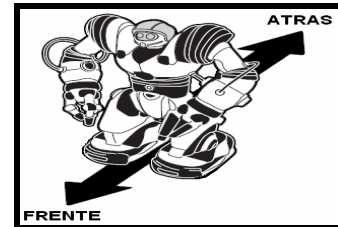


Figura 1.6 Movimiento de las patas

## 2. INTRODUCCIÓN AL HARDWARE DE LA PLATAFORMA

De manera general cabe indicar que en el presente proyecto se trabaja con el microprocesador PIC16F877A como cerebro del robot, se usan también resistencias variables como sensores de posición, sensores de ultrasonido y también finales de carrera en cada extremidad del cuerpo del robot para detectar objetos cuando el robot está en forma automática.

El microprocesador maneja actuadores para operar los siete motores DC que tiene el robot y los leds de señalización de la cabeza del mismo, los cuales se prenden según las secuencias de movimiento, previamente enviadas por el usuario utilizando un control remoto.

El robot tiene dos modos de funcionamiento: manual donde hace caso a todos los botones del control remoto; y, el modo automático donde trabaja en base de los sensores de ultrasonido y a los comandos enviados por control remoto.

En las siguientes secciones se tratarán con detalle cada uno de los componentes que forma parte de la plataforma móvil; motivo del presente trabajo.

### 2.1 CONTROL MANUAL

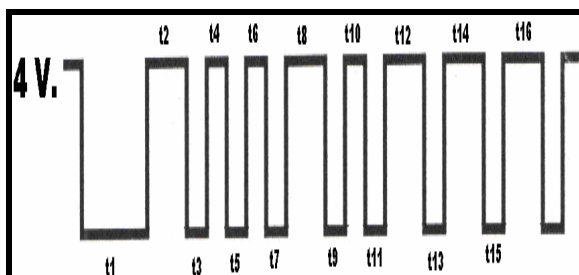
El control manual se lo realiza utilizando un control remoto, el cual tiene como finalidad la transmisión de señales (creación de datos), dicho elemento consta de un transmisor de infrarrojos (ubicado en la parte superior del control) encargado de emitir varias señales las mismas que son captadas por un receptor (ubicado en la cabeza del robot) y que van a ser interpretadas por el microcontrolador para determinar cada uno de los movimientos del robot ya que cada uno de los botones envía una señal diferente.

Los botones del control remoto con los que se trabajó se presentan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Botones del Control Remoto**

Número de Tecla	Comando
1	Levanta el brazo derecho
2	Baja el brazo derecho
3	Mueve la mano derecha hacia dentro-dos posiciones
4	Mueve la mano derecha hacia fuera-dos posiciones
5	Mueve la parte superior del cuerpo hacia la derecha
5(SLEEP)	Modo SLEEP del robot
6	Levanta el brazo izquierdo
7	Baja el brazo izquierdo
8	Mueve la mano izquierda hacia dentro-dos posiciones
9	Mueve la mano izquierda hacia fuera-dos posiciones
10	Mueve la parte superior del cuerpo hacia la izquierda
11	Camina hacia adelante
12	Gira a la derecha
13	STOP-detiene el robot y la función que este realizando
14	Gira a la izquierda
15	Camina hacia atrás
R	Activa los sensores de ultrasonido para pruebas
19	Modo autónomo
20	WAKE-UP

Para generar los datos se utilizó el control remoto propio del robot por lo que se procedió, mediante un osciloscopio, a graficar las señales que se generaban con cada botón del control, obteniéndose señales que variaban solamente en la duración del tiempo en alto ya que el tiempo en bajo era constante, conservando el mismo período. La señal que se obtuvo se presenta en la Figura 2.1.



**Figura 2.1 Trama de datos enviada por el control remoto**

Como todos los tiempos en bajo de las señales son constantes la trama a encontrar fue más fácil ya que se sumó cada uno de estos tiempos a su sucesor y así se pudo realizar la trama requerida considerando que los tiempos menores a 2.2 [mseg] equivalen a cero y los mayores a este tiempo equivalen a uno.

Con este elemento de juicio se establece las tramas de cada uno de las señales emitidas por el control remoto. En la Tabla 2.2 se nota dicha trama para los dos primeros botones (referirse a Figura 2.1) y todas las figuras de las tramas recibidas del control remoto se presentan en el Anexo D.

**Tabla 2.2 Trama de datos de 8 bits**

Botón	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	1	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	0	1	0	0

En la Tabla 2.3 se detalla la programación de los pines utilizados del microcontrolador PIC16F877A.

**Tabla 2.3 Utilización del microprocesador**

PIN	NOMBRE DEL PIN	ENTRADA O SALIDA	MODO DE EMPLEO
1	Reset	Entrada	Para resetear el programa.
2	RA0	Entrada	Posición del brazo derecho.
3	RA1	Entrada	Posición del brazo izquierdo.
4	RA2	Entrada	Posición de la pierna derecha.
5	RA3	Entrada	Posición de la pierna izquierda.
6	RA4	Entrada	No utilizado.
7	RA5	Entrada	No utilizado.
8	RE0	Salida	Habilita los sensores de obstáculos en el frente.
9	RE1	Salida	Habilita el sensor de obstáculo en el lado derecho.
10	RE2	Salida	Habilita el sensor de obstáculo en el lado izquierdo.
11	VDD	Entrada	Alimentación.
12	VSS	Tierra	Referencia a

			tierra.
13	OSC1	Entrada	Oscilador.
14	OSC2	Entrada	Oscilador.
15	RC0	Entrada	Monitorea finales de carrera de los dedos y patas
16	RC1	Salida	No utilizado
17	RC2	Salida	Genera un PWM de 40 Khz. necesario para los sensores de ultrasonido.
18	RC3	Salida	No utilizado
19	RD0	Salida	Dato 1 de la trama de 8 bits
20	RD1	Salida	Dato 2 de la trama de 8 bits
21	RD2	Salida	Dato 3 de la trama de 8 bits
22	RD3	Salida	Dato 4 de la trama de 8 bits
23	RC4	Salida	Activa el latch que maneja los leds de la cabeza.
24	RC5	Salida	Activa el latch de los motores de los brazos y manos
25	RC6	Salida	Activa el latch de los motores de la cintura y de las patas.
26	RC7	Salida	No utilizado
27	RD4	Salida	Dato 5 de la trama de 8 bits
28	RD5	Salida	Dato 6 de la trama de 8 bits
29	RD6	Salida	Dato 7 de la trama de 8 bits
30	RD7	Salida	Dato 8 de la trama de 8 bits
31	VSS	Tierra	Referencia a tierra
32	VDD	Entrada	Alimentación
33	RB0	Entrada	Anuncia obstáculo de cualquier sensor
34	RB1	Entrada	Receptor de los sensores de obstáculos del frente
35	RB2	Entrada	Receptor del sensor de obstáculo derecho
36	RB3	Entrada	Receptor del

			sensor de obstáculo izquierdo
37	RB4	Entrada	No utilizado
38	RB5	Entrada	Final de carrera de la mano derecha
39	RB6	Entrada	Final de carrera de la mano izquierda
40	RB7	Entrada	Entrada de la señal del control remoto

En la Figura 2.2 se muestra el microcontrolador con los elementos básicos para su funcionamiento.

## 2.2 RETENCION DE DATOS

El puerto D es utilizado en su totalidad para transmitir los datos necesarios para manejar los siete motores DC y los ocho leds de la cabeza. Como en el proyecto se trabaja con varios elementos que necesitan los datos, fue necesario utilizar un chip que retenga dichos datos para no perder información. Es por ello que se emplearon los latches SN74LS373

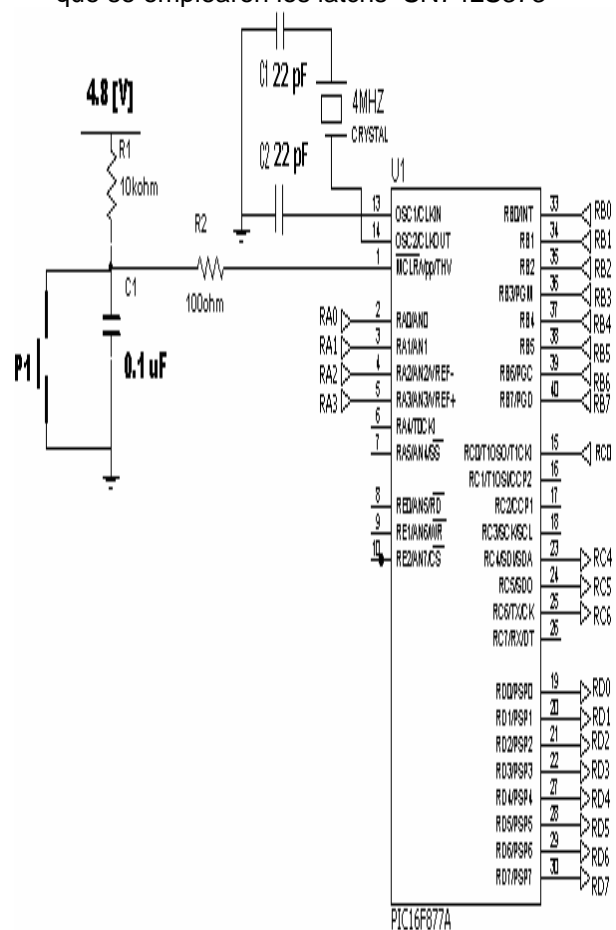


Figura 2.2 PIC 16F877A, reset y cristal

**Tabla 2.4 Utilización de los latches**

Latch	Bit de Habilitación	Uso
1	RC6	Datos de los motores de las patas y cintura
2	RC5	Datos de los motores de los brazos
3	RC4	Datos de los leds

**2.3 MANEJO DE LOS MOTORES DC**

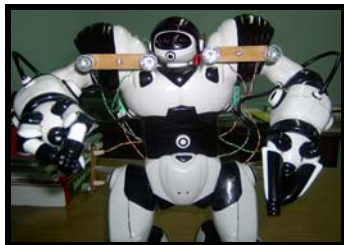
El robot tiene siete motores dos en sus patas, uno en la cintura, dos en los hombros y dos en las manos, todos de corriente continua. Para manejar los motores DC se utilizó el circuito integrado L293D.

**2.4 MANEJO DE LOS SENSORES DE ULTRASONIDO**

A continuación se muestra un resumen en la Tabla 2.5, que indica el manejo de los sensores de ultrasonido

**Tabla 2.5 Habilitación de los Sensores de Ultrasonido**

Pin del Puerto	Funcionalidad
RE0	Habilita los transmisores de obstáculos en el frente del robot.
RE1	Habilita el transmisor de obstáculo en el lado derecho del robot.
RE2	Habilita el transmisor de obstáculo en el lado izquierdo del robot.



**Figura 2.3 Ubicación de los sensores de ultrasonido**

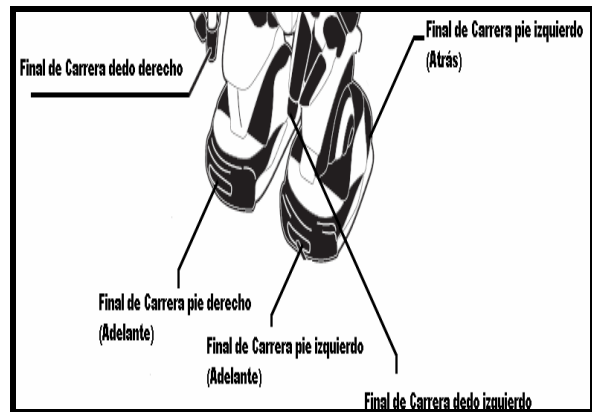
**2.5 FINALES DE CARRERA**

En el robot existen seis finales de carrera ubicados como se muestra en la Tabla 2.6 y cuyo diagrama se puede apreciar en la Figura 2.4. Su operación se basa en un contacto normalmente abierto que al ser activado manda una señal de continuidad en los dos terminales de empalme.

**Tabla 2.6 Función y ubicación de los finales de carrera**

Final de Carrera	Ubicación	Funcionalidad
F1	Dedo Derecho	Todos detectan el obstáculo y detienen el robot.
F2	Dedo Izquierdo	
F3	Al frente de la pata Derecha	
F4	Atrás de la pata Derecha	
F5	Al frente de la pata Izquierda	
F6	Atrás de la pata Izquierda	

Dicha señal que se obtiene de estos finales de carrera entran en el pin RC0, adicionalmente cuando cualquiera de ellos es presionado se genera una señal en el pin RB0 con la finalidad de realizar una interrupción externa en el microcontrolador. Esta interrupción es necesaria para informar al robot que un obstáculo ha sido detectado.



**Figura 2.4 Ubicación de finales de carrera del robot**

## 2.6 SENSORES DE POSICIÓN

Para detectar la posición de cada uno de los ejes de los motores se utilizó, acoplados al mismo, potenciómetros, los cuales están conectados al VCC (4.8 [V]) para generar diferentes valores de voltaje, los mismos que ingresan al microcontrolador a través de los canales analógicos AN0, AN1, AN2 y AN3.

El circuito de los sensores de posición se presenta en la Figura 2.5 (es similar el circuito para todos), donde a partir de cada salida se conecta una resistencia de 100 [ohm] para proteger al microcontrolador.

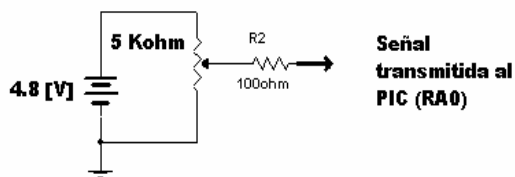


Figura 2.5 Circuito utilizado como sensor de posición

Los potenciómetros utilizados en el presente proyecto son lineales, los cuales se mueven con el eje del engrane de cada pata y brazo.

El microcontrolador PIC cuenta con un programa de control que se encarga de decodificar las órdenes emitidas por el usuario desde el control remoto, al reconocer el comando se toma la acción correspondiente relacionando su estado actual con la orden a realizar, en el desarrollo del programa de control se da una explicación del programa principal y de las subrutinas empleadas, además se presentan los diagramas de flujo de cada una de ellas.

## 3. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control se lo realizó en lenguaje ensamblador para microcontroladores PIC; y está basado en la arquitectura de la Figura 3.1 en la cual se puede ver que el microcontrolador interactúa con los sensores actuadores y control remoto, el cual emite una trama de datos que es recibida y procesada, luego éste comanda a los actuadores para que el robot realice diferentes secuencias de movimiento.

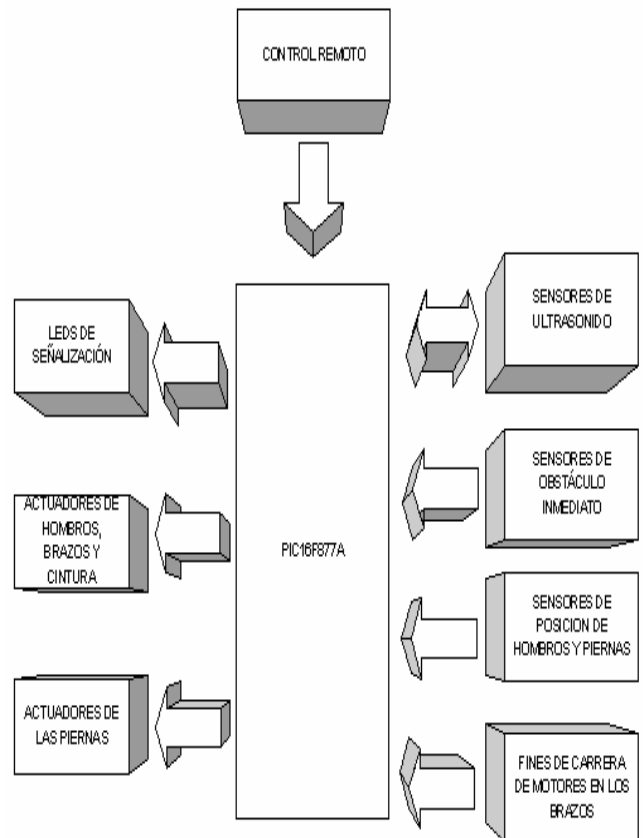


Figura 3.1 Arquitectura del Programa

### 3.1 PROGRAMA PRINCIPAL

El programa principal se encarga de configurar al microcontrolador llamando a siete subrutinas distintas, las mismas que se resumen a continuación:

Tabla 3.1 Subrutinas de Programa Principal

Subrutina	Función
PUERTOS	Configura a los puertos PORTB, PORTA como entradas y PORTE, PORTC, PORTD como salidas, por medio de los TRISX (donde X=A, B, C, D, E), todas estas digitales a excepción de PORTA que es analógico.
ANALOG	Configura al conversor A/D (ADCON1) para utilizar la fuente del PIC como Voltaje de referencia y el número de canales analógicos hace

	que el resultado de la conversión se deposite en el ADRESH perdiendo los dos bits menos significativos de la conversión, finalmente deja encendido el conversor A/D.
VARIABLES	Prepara los valores iniciales de cada registro auxiliar, borra el contenido de los registros AUXD, AUXD1, AUXT, AUXB, AUXMA, PORTC, PORTE, MOTOR A, MOTOR B, setea AUXT_1A=D'72' AUXT_1B= D'08' LEDS=B'11110101', finalmente se debe llamar a la subrutina refresh para actualizar estos cambios en los latch.
PWMFUN	Configura el registro CCP2CON para que el timer 2 funcione en modo PWM
INTERRUPCIONES	Al inicio se habilita solo ciertas interrupciones configurando al INTCON y al PIE1. Las interrupciones permitidas son: Internas.- Por desbordamiento del TIMER1 ( <b>PIE1.TMR1IE</b> ). Conversión A/D completa ( <b>PIE1.ADIE</b> ). Externas.- Cambio de estado en los MSB del PORTB RBU ( <b>INTCON.RBIE</b> ), interrupción en RBO ( <b>INTCON.INTE</b> ). Además se borra todas las banderas, y se habilita el funcionamiento de las interrupciones tanto periféricas ( <b>INTCON.PEIE</b> ) como globales ( <b>INTCON.GIE</b> ).
WAKE UP	Esta subrutina se explicará más adelante

Configura los timers del microcontrolador,		
Timer	Registros configurados	Función
0	OPTION_REG, TMR0	Se utiliza para obtener bases de tiempo de 2.2m[s] y 1 m[s] dependiendo el caso, necesaria para la recepción de los datos enviados desde el control remoto.
1	T1CON, TMR1L, TMR1H	Por medio de este timer, se crea una base de tiempo de 8.6m[s] que sirve para cronometrar distintos tiempos desde 0.5 [s], hasta 5 [min.].
2	T2CON, TMR2, PR2, CCPR2L, CCPR2H	Genera una señal PWM de 40[Khz.] que sale por el pin RC2, la cual es utilizada para los emisores de ultrasonido.

Luego de completar todas las subrutinas del programa principal el microcontrolador permanece en un lazo que se denomina principal (LAZO\_PRINCIPAL) en la espera de la llegada de un dato o la orden del control remoto para realizarla.

#### 4. PRUEBAS DEL MODO MANUAL DEL ROBOT

Las pruebas del modo manual, se ejecutaron satisfactoriamente con todos los comandos enviados por el usuario a través del control remoto.

##### 4.1 MANEJO DE LOS BRAZOS

La finalidad de la prueba era comprobar la ejecución de los comandos 1, 2, 6 y 7 (referido a la Tabla 2.1).

Luego de enviar estos comandos a través del control remoto, el robot levantó y bajó el brazo derecho e izquierdo. Cabe decir que el robot al levantar el brazo izquierdo no lo hace con tanta facilidad como el brazo derecho, debido a la constitución mecánica de los brazos, ya que el brazo derecho tiene mayor facilidad de movimiento. Otra acotación importante es que el sensor de posición del brazo izquierdo, debido a su ubicación, no permite que el brazo recorra todo su trayecto, alcanzando solamente el 90% de su totalidad, lo que no ocurre en el brazo derecho que alcanza el 98%.

## 4.2 MANEJO DE LAS MANOS

Con la ejecución de las teclas 3, 4, 8 y 9 del control remoto (Tabla 2.1) se observó el funcionamiento de ambas manos del robot.

El robot, en ambas manos, tiene dos posiciones, tanto al abrir así como al cerrar, por lo que en estos comandos es necesario pulsar dos veces cada una de las teclas para la ejecución total de los mismos.

## 4.3 MANEJO DE LAS PATAS

En el manejo de las patas se buscó comprobar que el robot ejecute correctamente los comandos de caminar tanto para adelante como para atrás.

Para realizar esta prueba se pulsó las teclas 11 y 15 (Tabla 2.1), luego de lo cual el robot se coloca en una posición inicial, la misma que es muy importante para facilitar el caminar del robot. La posición inicial para caminar es brazo derecho arriba con su mano cerrada y el brazo izquierdo abajo con su mano semi-abierta. (Figura 4.1).



**Figura 4.1** Posición inicial del robot antes de empezar a caminar

Otra de las pruebas, dentro del manejo de las patas, fue para determinar la ejecución de los comandos girar, por lo que al pulsar las teclas 12 y 14 (Tabla 2.1) el robot giró correctamente hacia la derecha e izquierda respectivamente. Para la ejecución de estas órdenes se requirió nuevamente de una posición inicial. Para girar se necesitó que el brazo derecho esté abajo, la mano derecha cerrada y que el brazo izquierdo esté abajo con su mano semi-abierta.

## 4.4 MANEJO DE LA CINTURA

El anhelo de esta prueba fue determinar la ejecución de los comandos para mover el dorso del robot. Por lo que al pulsar las teclas 5 y 6 (Tabla 2.1) la plataforma bípoda movió su dorso a lo programado, a la derecha e izquierda correspondientemente.

## 4.5 PRUEBAS DEL MODO AUTOMÁTICO DEL ROBOT

### 4.5.1 DISTANCIA DE DETECCIÓN

El robot debe detectar obstáculos a una distancia de 25 [cm.]. Para comprobar esta hipótesis se ejecutó el modo automático del robot y se utilizó obstáculos de diferente constitución.

De estas pruebas se obtuvo la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1** Distancia de detección de objetos

Material	Distancia
Concreto	32(cm.)
Vidrio	42(cm.)
Madera	39(cm.)
Cuero	41(cm.)

Como se puede apreciar en la Tabla 4.1 la distancia de detección en el modo automático depende del material del obstáculo y de la superficie del mismo.

### 4.5.2 OBJETOS DETECTADOS

En el modo automático el robot tiene cierta dificultad en detectar los obstáculos que no son superficies planas y perpendiculares a la señal de sus sensores de ultrasonido, por lo que se realizó pruebas de detección de obstáculos específicos como: personas, pared, mesas, gradas, puertas, dando los resultados que se muestran en las Figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 y 4.7.

#### 4.5.2.1 Persona

Como se muestra en la Figura 4.2a y 4.2b el robot detecta a la persona por lo que se detiene a la distancia programada de los sensores de ultrasonido.



**Figura 4.2** Robot detectando persona y realizando la acción evasiva

#### 4.5.2.2 Silla

Las sillas al no tener una superficie relativamente grande (superficie de las patas) dificultó totalmente al robot detectarla como se muestra en la Figura 4.3a y 4.3b. A pesar de ello el robot se detuvo ya que los finales de carrera de los dedos tocaron el objeto lo que



provocó que el robot retroceda y cambie de dirección para continuar caminando.



**Figura 4.3 Robot acercándose a la silla, sin detectarla.**

#### 4.5.2.3 Mesa

Como se indica en la Figura 4.4a y 4.4b las patas de la mesa presentan la misma dificultad que la silla por lo que el robot tampoco la detectó.



**Figura 4.4 Robot dirigiéndose hacia una de las patas de la mesa**

#### 4.5.2.4 Pared, vidrio y cuero

En estos tres casos de superficie el robot detectó completamente deteniéndose a las distancias detalladas en la Tabla 4.1 Todo esto se puede apreciar en las Figuras 4.5, 4.6 y 4.7.)



**Figura 4.5 Robot deteniéndose ante una superficie de vidrio,**



**Figura 4.6a Robot detectando una superficie de cuero.**



**Figura 4.7 Robot preparando su posición inicial para dirigirse hacia delante**

Todos estos resultados se pueden comprobar cuando el elemento a detectar tiene una superficie paralela a los sensores, caso contrario el robot topa el objeto y su detención depende exclusivamente de los finales de carrera de sus extremidades.

#### 4.5.3 MOVILIDAD DEL ROBOT

##### 4.5.3.1 En superficie plana lisa

En este tipo de superficie el robot camina fácilmente y con relativa velocidad; los giros se ejecutan con un alto nivel de eficacia.

##### 4.5.3.2 En superficie plana rugosa

El movimiento hacia delante y atrás funciono adecuadamente, pero presentó dificultades cuando las patas no tenían total contacto con el suelo, es decir, existían grietas considerables en el camino para el tamaño del robot.

Cabe indicar que cuando el robot realiza los giros hacia los costados no se mueve con la misma facilidad que en una superficie lisa e inclusive puede llegar a desobedecer al microcontrolador. Esto es relativamente normal ya que inclusive el ser humano, presenta dificultad en esta clase de superficie irregular.

##### 4.5.3.3 Superficie inclinada lisa

En experimentos de caminata realizados en este tipo de superficie el robot se cae debido a la inestabilidad que presenta al mover las patas. Cabe mencionar que en superficies menores a  $10^\circ$  de inclinación el robot anda perfectamente.

#### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La versatilidad que poseen hoy en día los microcontroladores, permiten realizar desde pequeñas aplicaciones hasta controles muy complejos, esto es muy evidente en el presente trabajo ya que con un solo microcontrolador se dio movimiento a toda la estructura robótica, sin dejar a un lado la comunicación con el medio externo.

El uso de elementos de interrelación entre el hombre y la máquina no es un concepto nuevo, pero aquí se ratifica que el elemento más cómodo de usar ya que es universal, es un control remoto, por lo que el manejo de la plataforma es fácil y sencilla. Lo único que es necesario conocer, son las tramas de datos emitidas por el control remoto, una vez echo esto, la decodificación del comando se la programa generando una base de tiempo adecuada y observando el estado lógico de la trama.

En el control de los motores se usó el driver LM293, el mismo que simplificó enormemente el encendido y las inversiones de giro en los motores, pero a la vez restó torque debido a que trabaja con niveles de corriente más bajos que los nominales de los motores.

El uso del modo extendido en cualquier tipo de aplicación incrementa la capacidad de manejo de periféricos ya sea de entrada o salida, en este proyecto se aumentó al doble el número de salidas digitales, con lo cual se prescindió de otro microcontrolador que únicamente habría ocupado más espacio sin estar encargado de realizar funciones de importancia.

El costo del prototipo fue relativamente bajo, todos los elementos se los encontró dentro del país, cumpliéndose uno de nuestros objetivos personales planteados "Controlar una plataforma bípeda" con elementos que se encuentren dentro del país.

El uso de sensores de posición permiten un control exacto y minucioso de cualquier estructura, en este proyecto se observa claramente la diferencia entre las articulaciones que poseen sensores de posición (hombros y piernas), finales de carrera (manos) y la que no tienen ningún tipo de sensor (cintura). Las primeras articulaciones dan seguridad total en los movimientos y se puede indicar hasta que punto se desea mover la articulación. En el caso de las manos que tienen final de carrera, la incertidumbre de la posición está presente, pero se la puede solucionar colocando a la articulación en una posición inicial. En el caso de la cintura, al no tener un sensor o final de carrera, no se podría ejercer control de posición en esta parte de la estructura, pero la constitución mecánica del robot, permitió intuir cual es la posición estándar de la articulación, y en base a experimentación se generaron bases de tiempo que dan la movilidad que se necesita.

Las sugerencias para mejorar este prototipo en el futuro son:

Generar el código fuente que permita al robot realizar acciones más humanas, como por ejemplo bailar, levantar objetos, memorizar un trayecto, o incluso poder salir de un laberinto.

Crear un control remoto que sea accionado mediante la voz o el computador, y emita los comandos a la plataforma bípeda.

Realizar la simulación y visualización en tiempo real de la plataforma, observando los movimientos y reacciones desde un monitor, de esta forma se podrá comprobar los algoritmos de control antes de implementados en la plataforma.

Se considera muy importante la investigación de este tipo de robots en la Escuela Politécnica Nacional, ya que en los últimos años ha habido un auge en la investigación de humanoides debido a que su apariencia humana es un atractivo innato para las personas, y va a permitir crear cada vez más "máquinas que no son máquinas", adicionalmente lograr imitar la habilidad de caminar en el hombre es un reto muy interesante, ya que esto es el inicio de una nueva rama investigativa dentro del mundo.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Torres, F.; Pomares, J.; Gil, P.; Puerta, S.; Aracil, R., "Robots y Sistemas Sensoriales," Editorial Pearson Educación S.A., Madrid 2002.
- [2] GROOVER M.; WERSS M.; NAGEL R.; ODREY N., "Industrial Robotics-Technology, Programming and Applications," Editorial McGraw-Hill, 1986.
- [3] Juan José Ramos, René Alberto González Florentino y Samuel Meléndez, ROBOTEC Tecnología Robótica, <http://robotec11.tripod.com/id4.html>
- [4] Universidad de Mendoza-Argentina, Diferentes tipos de robots - clasificación general, <http://www.roboticajoven.mendoza.edu.ar>
- [5] Honda, History ASIMO, <http://asimo.honda.com/asimos>
- [6] RoboticSpot, Robótica por Ingenieros desde Madrid para España y el Mundo, <http://www.roboticspot.com>
- [7] Walter Fendt, traducción por Juan Muñoz, Ley de Ohm, [http://www.walter-fendt.de/ph11s/ohmslaw\\_s.htm](http://www.walter-fendt.de/ph11s/ohmslaw_s.htm)
- [8] Jameco, Sensores de Ultrasonido 136653, <http://www.jameco.com>
- [9] Cueva, J., Retroban, M., "Control y ensamblaje de un robot que emule un perro doméstico," EPN, Quito, Noviembre 2004.

[10] Microchip Technology Inc., "PIC16F87XA Data Sheet, 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers," 2003

[11] Ñiacasha, N., "Desarrollo de un Dispositivo que Mida la Distancia a un Objeto Emulando el Efecto de un Bastón Blanco para Personas Invidentes," EPN, Quito, Mayo 2004

## 7. BIOGRAFIAS



### **Lara Chiriboga Jorge Luis**

Nació en Ibarra el 20 de Mayo de 1983. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Fiscomisional "Sánchez y Cifuentes", Ibarra. Se graduó en la Escuela Politécnica

Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en julio del 2006.

Áreas de interés: robótica, informática y redes en sistemas linux, aplicaciones con microcontroladores, automatización y control industrial.

### **Loor Fonseca Osmith Ramón**

Nació en Quito el 5 de Julio de 1984. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en el 2006.



### **Nelson G. Sotomayor**

Nació en Quito el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela

Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Agregado 2 T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Además es Coordinador del Área de Circuitos, Control e Inteligencia Artificial

Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial