

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRÓNICO EN AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**“Diseño e Implementación de un Robot Móvil tipo
Hexápodo Teledirigido”**

**CÉSAR ALFREDO FUERTES ROSERO
ROMEL PATRICIO LLUMIQUINGA LLUMIQUINGA**

SANGOLQUÍ – ECUADOR

MAYO 2005

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado en su totalidad por los señores César Alfredo Fuertes Rosero y Romel Patricio Llumiquinga Llumiquinga, bajo nuestra dirección.

Ing. Evelio Granizo
DIRECTOR

Ing. Víctor Proaño
CO DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mis padres, a mi esposa y en especial a mi abuelita por todo el apoyo que me brindan y me brindaron durante mi vida universitaria; este apoyo ha sido la base para lograr una de mis metas mas preciadas. También un agradecimiento especial para los ingenieros Evelio Granizo y Víctor Proaño por su colaboración para la realización de este proyecto.

César Fuertes.

Agradezco principalmente a Dios ya que sin su bendición nada sería posible de realizar, a mis padres porque sin su apoyo incondicional no hubiera llegado a culminar mi carrera, a mi esposa, mis hermanos por el apoyo moral y afectivo brindado a lo largo de mi carrera universitaria. Agradezco también a los Ingenieros Evelio Granizo y Victor Proaño por su colaboración en la consecución del presente proyecto.

Romel Llumiquinga.

DEDICATORIA

A mi hijo Juan José que es lo más hermoso que la vida me ha dado y a mi madre que con su amor incondicional siempre ha estado a mi lado apoyándome y dándome su confianza tanto en la adversidad como en la felicidad.

César Fuertes.

A mis padres Olivo y Herminia quienes siempre tuvieron confianza en mi y me brindaron todo su apoyo, no solo económico sino moral y afectivo, enseñándome que cuando uno quiere ser alguien en la vida tiene que luchar y sobreponerse a todos los obstáculos que se presentan.

A mi hijo Mateo Nicolás quien desde el día que nació me hizo sentir la persona mas feliz del mundo y porque su presencia me dio más fuerza para seguir y no detenerme hasta llegar a culminar mi carrera profesional.

Romel Llumiquinga.

PROLOGO

El presente proyecto tiene como principal objetivo la construcción y control de un robot móvil tipo hexápodo, para lo cual se usa el PIC de radiofrecuencia RfPIC que realiza un control remoto del robot, y se utiliza una cámara de video montada en el robot para la transmisión de video hacia la estación de control mediante el kit transmisor/receptor wireless 1.2Ghz. Además se utiliza sensores infrarrojos y ultrasónicos que dotan al robot de un cierto grado de inteligencia, que le permite tomar ciertas decisiones sin necesidad de recurrir al mando de control externo.

El presente proyecto se divide en siete capítulos, los cuales se detalla a continuación:

En el **CAPÍTULO I** se realiza una introducción, antecedentes y justificación, y descripción general del proyecto.

En el **CAPÍTULO II** se realiza la descripción del principio de funcionamiento de los servomotores y sensores, una descripción de los tipos de sensores, una descripción de cada sensor que presenta características favorables para ser utilizado dentro del proyecto, y se describe de forma general el sensor de visión usado en el proyecto.

En el **CAPÍTULO III** se analiza las características principales de los robots hexápodos, y así como las diferentes formas de locomoción por patas; dentro de la locomoción por patas se analizan las diferentes formas del movimiento de las patas de los hexápodos articulados. También se diseña y se simula el ensamblaje de cada pieza del robot mediante la utilización del software Solidworks, luego con la utilización de madera se realiza el primer prototipo y con la fibra de vidrio el prototipo final.

En el **CAPÍTULO IV** se detalla todo lo referente al hardware utilizado en el robot y en la estación de control.

En el **CAPÍTULO V** se realiza la programación de los algoritmos para el movimiento del robot mediante la utilización del programa Visual Code Studio, y para la programación del control remoto se utiliza el programa del Kit de Rfpic's; el cual permite la comunicación de la estación de control y el robot.

En el **CAPÍTULO VI** se detalla las diferentes pruebas realizadas para el buen funcionamiento del prototipo y sus consecuentes limitaciones.

En el **CAPÍTULO VII** se indican las conclusiones y recomendaciones que servirán para futuras investigaciones en el campo de la robótica móvil mediante locomoción por patas.

INDICE

CONTENIDO	PÁG.
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES y JUSTIFICACIÓN, y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	3
1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	4
CAPITULO II	
FUNDAMENTOS BASICOS	
2.1 SERVOMOTORES	7
2.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL SERVO.....	9
2.1.2 GENERACIÓN DE PULSOS (PWM)	11
2.1.3 DETALLES IMPORTANTES CUANDO SE TRABAJA CON SERVOMOTORES	12
2.2 SENSORES	13
2.2.1 SENSORES INFRARROJOS	14
2.2.2 SENSORES ULTRASÓNICOS	16
2.2.3 SENSOR DE VISIÓN.....	21
2.2.3.1 CAMARA WIRELESS.....	22
2.3 MICROCONTROLADORES.....	23
2.4 MICROCONTROLADORES DE RADIO FRECUENCIA	27
2.4.1 MICROCONTROLADOR TRANSMISOR.....	28
2.4.1.1 Características del Módulo Transmisor	29
2.4.1.2 Programación del Módulo Transmisor	30
2.4.2 MICROCONTROLADOR FLASH 12F675 CON TRANSMISOR.....	31
ASK/FSK.....	

2.4.2.1 Características Técnicas del Microcontrolador 12F675	31
2.4.2.2 Características de Transmisión del Microcontrolador 12F675.....	32
2.4.3 MÓDULO RECEPTOR	33
2.4.4 MICROCONTROLADOR rRXD0420.....	35

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA MECANICA DEL ROBOT

3.1 ROBOTS HEXÁPODOS	37
3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ROBOTS HEXÁPODOS.....	38
3.1.1.1 Grados de Libertad.....	38
3.1.1.2 Zona de Trabajo (Work envelop)	39
3.1.1.3 Velocidad	39
3.1.1.4 Factores Mecánicos	39
3.1.2 ROBOTS HEXÁPODOS CON LOCOMOCIÓN POR REMOS	40
3.1.3 ROBOTS HEXÁPODOS CON ARTICULACIONES.....	41
3.1.3.1 Descripción de los Hexápodos con articulaciones.....	42
3.1.3.2 Tipos de Locomoción del Robot Hexápodo Articulado	43
3.2 DISEÑO MECÁNICO DEL ROBOT HEXÁPODO.....	48
3.2.1 DISEÑO DEL HOMBRO (Soporte de los Servos).....	49
3.2.2 DISEÑO DE LA PATA	50
3.2.3 DISEÑO DEL CUERPO	52
3.3 ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT HEXÁPODO.....	53
3.3.1 ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCIÓN DEL HOMBRO	54
3.3.2 ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCIÓN HOMBRO-PATA	55
3.3.3 ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT	57

CAPITULO IV

HARDWARE DEL ROBOT HEXÁPODO Y DE LA ESTACION BASE

4.1 INTRODUCCIÓN	58
4.2 HARDWARE DEL ROBOT	58

4.2.1	DETALLE DE CONEXIÓN DE CADA PIN DEL 16F877	59
4.2.2	ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES INFRARROJOS.....	62
4.2.3	DETALLE DE CONEXIÓN DEL RF-PIC RECEPTOR.....	62
4.3	HARDWARE ESTACION BASE.....	63

CAPITULO V

SOFTWARE DEL ROBOT

5.1	INTRODUCCIÓN	66
5.1	PROGRAMA DE TRANSMISIÓN.....	67
5.2	PROGRAMA DE RECEPCIÓN.....	69
5.3	PROGRAMA DE CONTROL DE MOVIMIENTOS DEL ROBOT	71
5.3.1	PROGRAMA PRINCIPAL.....	73
5.3.2	CAMINATA HACIA DELANTE	74
5.3.3	CAMINATA HACIA ATRÁS.....	76
5.3.4	GIRO DERECHA	78
5.3.5	GIRO IZQUIERDA	80
5.3.6	DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA PRINCIPAL.....	82

CAPITULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1	INTRODUCCIÓN	83
6.2	CAMINATA SOBRE SUPERFICIES LISAS.....	83
6.3	CAMINATA SOBRE TERRENOS IRREGULARES.....	85
6.4	CAMINATA SOBRE TERRENOS INCLINADOS	86
6.5	COMPORTAMIENTO FRENTE A OBSTACULOS GRANDES	88
6.6	COMPORTAMIENTO DEL HEXÁPODO FRENTE A HUECOS	89

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES.....	90
7.2 RECOMENDACIONES	93

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANEXO A

PLANO DEL SERVOMOTOR

ANEXO A1

PLANO DEL HOMBRO

ANEXO A2

PLANO DE LA PATA

ANEXO A3

PLANO DEL CUERPO

ANEXO B

ESQUEMATICO DEL CIRCUITO DE CONTROL DEL ROBOT HEXÁPODO

ANEXO B1

ESQUEMATICO DEL CIRCUITO DEL CONTROL REMOTO

ANEXO C

ESQUEMATICO rfRXD0420 RECEIVER MODULE

ANEXO C1

ESQUEMATICO rfPIC12F675 TRANSMITER MODULE

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES y JUSTIFICACIÓN, y DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

Los microrobots pueden emplearse desde el simple entretenimiento de aficionados hasta aplicaciones de neurofisiología, cibernética, vehículos espaciales, estudios del comportamiento para evitar obstáculos, etc.

Los investigadores del “Laboratorio de Insectos del Instituto de Tecnología de Massachussets” (MIT), que han creado pequeños robots con movimientos y comportamiento de insectos, opinan si consistirá el próximo hito de la robótica en una serie de máquinas económicas que repten, piensen y se conduzcan; en este caso como insectos.

Por otro lado, Rodney Brooks director del laboratorio de insectoides del MIT realiza un nuevo enfoque que él denomina arquitectura de subsunción, y consiste en que las conductas complejas son el resultado evolutivo de una variedad de funciones de conductas simples. Con este enfoque no se añaden al sistema conductas nuevas hasta que las anteriores están perfectamente a punto y en marcha, además se demuestra que la técnica de subsunción sigue funcionando al añadir estratos de comportamiento más complejos, por lo que se ha comprobado que sistemas de control muy sencillos pueden dar lugar a comportamientos muy complejos. Por ejemplo uno de estos robots es el Genguis, que entre los sensores que dispone esta dotado de dos barbas de gato y seis sensores infrarrojos, en donde los sensores infrarrojos operan conjuntamente con

el módulo de merodeo, dotando a Genguis de una conducta insólita, porque descansa tranquilamente hasta que detecta radiación infrarroja, procedente por ejemplo del tobillo de un ser humano, cuando esto se produce se activa su módulo de locomoción y en ese momento comienza avanzar hacia la pierna del desprevenido ser humano, el cual puede tener tiempo para apartarse, pero mediante el módulo de guiado el Genguis puede ser implacable.

También se debe destacar que el robot es una maravilla del diseño y de la alta tecnología siendo de gran utilidad para la exploración del terreno de otros planetas, y acceder a cuerpos más pequeños tales como: cometas, asteroides, la luna, etc. Por lo que los investigadores del Jet Propulsion Laboratory (JPL) de la NASA en Pasadena California han creado un robot inteligente destinado a explorar el suelo marciano, siendo un robot miniatura con aspecto de insecto que cabe en la palma de la mano y tiene la capacidad de aprender de sus experiencias. Este insecto robot puede también ayudar en el mantenimiento y las reparaciones de la Estación Espacial Internacional (ISS), y en la Tierra puede ser de gran utilidad para los seres humanos que investigan zonas peligrosas como volcanes o terremotos.

De lo anterior Robert Hogg Ingeniero en la sección de desarrollo de los sistemas de movilidad del JPL de la NASA, indica que el diseño articulado, con el aspecto y movilidad de un insecto, le da una ventaja sobre los móviles tradicionales de exploración que avanzan sobre ruedas u orugas, porque a pesar de que estos son eficaces hay zonas donde es necesario acceder andando; algo que sólo puede hacer el robot insecto.

Por lo tanto, los investigadores Hogg y Marzwell del JPL piensan que para explorar planetas lo mejor es mandar muchos robots pequeños y baratos que puedan comunicarse entre sí pasándose información, porque se cree en un principio que los insectos robots se utilizarán como puente de información, hasta que llegue a una central, que será luego transmitida a la Tierra. También Hogg

indica que un sistema similar se podría usar en nuestro mundo durante desastres urbanos, que consiste en enviar cien insectos robots para determinar características particulares, por ejemplo de donde proviene una contaminación química.

1.2 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En la actualidad se llevan a cabo investigaciones sobre dos grandes grupos de robots, los cuales se describen a continuación:

- Robots con TRAYECTORIAS PROGRAMADAS, que poseen precisión, gran rapidez, y están programados para hacer una y otra vez la misma función, por lo que son usados regularmente en la planta productiva.
- Robots INTELIGENTES que se encuentran en sus primeras etapas de desarrollo, pero actualmente se trabaja ya con robots cuyo control se da a través de redes neuronales artificiales, entre estos tenemos los provistos de sistemas de navegación que les permite evadir obstáculos. La forma de trabajar de estos robots es más o menos la siguiente: dado un problema concreto se proporciona un árbol de decisiones en el que se jerarquizan los diferentes criterios a considerar y quedan definidos explícitamente cuáles de ellos son más importantes que otros, a cada criterio se le asignan un peso que intenta reflejar su importancia relativa, por lo que para resolver un problema se estudian diferentes alternativas y se evalúan cuantitativamente de acuerdo con este árbol. El resultado es bueno pero pobre comparado con el de un experto humano.

Existe un subgrupo de robots que aparentan ser inteligentes, porque tiene capacidades tales como el procesamiento de imágenes, aunque estos son hechos con arquitecturas convencionales y usan algoritmos o seguimiento de reglas concretas.

De entre las opciones de la robótica contemporánea se destacan los robots con extremidades debido a que poseen las siguientes características:

- Estos robots puedan atravesar o viajar por terrenos de difícil acceso para vehículos convencionales como son: regiones pantanosas, junglas, minas, volcanes, terremotos, reactores nucleares, en el espacio exterior, etc.
- Este tipo de robots exige un mayor conocimiento del comportamiento de las extremidades de los hombres y de los animales, y los principios de la locomoción de estos, ya que una de las principales manifestaciones de la vida es el movimiento.
- Los sistemas con extremidades proporcionan una enorme riqueza del comportamiento dinámico de los seres vivos.

Hoy en día el diseño y construcción de estos robots abarca una extensa gama de aplicaciones, como por ejemplo: salvar vidas en desastres naturales, como terremotos donde el robot se encarga de buscar personas vivas de entre los escombros, monitoreo de volcanes activos, investigación de zonas de alto grado de contaminación, etc. Por lo anterior se ha querido dar un paso en la investigación y desarrollo de un modelo de este tipo de robot, que permita dentro de sus características y limitaciones su uso dentro de alguna de las aplicaciones enunciadas.

1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

En el presente proyecto se desarrolla un robot hexápodo teledirigido que está compuesto por una parte mecánica y otra electrónica, donde se utiliza sensores, actuadores, un circuito de control, un dispositivo de visión y un módulo de comunicación inalámbrico, los cuales se describen a continuación:

- **La parte mecánica** es la parte más importante del robot para que pueda caminar y está dotada de seis extremidades montadas en grupos de tres al costado derecho y al costado izquierdo del cuerpo del robot; en donde cada una de las extremidades posee dos grados de libertad, lo cual hace que el robot pueda moverse en las cuatro direcciones: adelante, atrás, derecha e izquierda.
- **Los sensores infrarrojos** ayudan a detectar la presencia de obstáculos, y el sensor ultrasónico verifica que la superficie sobre la cual se desplaza el robot no tenga huecos u otros tipos de orificios; que al ser alcanzados por el robot provoquen que éste se desestabilice y caiga.
- **Los actuadores** son pequeños motores denominados miniservos, los cuales poseen un suficiente torque y velocidad que ayudan a la movilidad del robot. Dos miniservos se encuentran dispuestos en cada extremidad, y son los encargados de provocar un desplazamiento en el eje horizontal y un desplazamiento en el eje vertical; el primero para mover el cuerpo del robot respecto al piso, y el segundo para levantar o asentar la extremidad.
- **El cerebro del robot** lo conforma un Microcontrolador PIC de la familia 16F87X, el mismo que mediante un programa hace que las señales recibidas sean procesadas, para luego ejecutar las acciones correspondientes del robot, respetando sus movimientos y demás acciones para las cuales fue diseñado.
- **El dispositivo de visión** lo conforma una mini cámara inalámbrica que se encarga de transmitir desde el robot a la estación de control la información de audio y video. Esta transmisión es realizada por el Kit transmisor/receptor wireless de 1.2GHZ.

- **El módulo de comunicación inalámbrico** lo conforman los RFPICS que cuentan con un transmisor y un receptor, este último va montado sobre el robot recibiendo señales para luego decodificarlas en señales digitales que serán ingresadas al microcontrolador manejado por el robot, todo esto para indicarle al robot hacia donde debe dirigirse: adelante, atrás, derecha o izquierda. Además este módulo hace que el robot sea operado desde la estación base sin necesidad de medios alámbricos.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS BÁSICOS

En este capítulo se detalla de manera general los fundamentos básicos de los elementos electrónicos más importantes que se utiliza en el ensamblaje del robot.

2.1 SERVOMOTORES

El servo es un pequeño dispositivo que contiene en su interior: de un pequeño motor con un reductor de velocidad y multiplicador de fuerza, y de un circuito que controla el grado de giro del eje de salida del servo; cuyo recorrido en la mayoría de ellos es de 180°, pero puede ser fácilmente modificado para tener un recorrido libre de 360° y actuar así como un motor.

En la parte externa tiene tres cables que se describen a continuación: el rojo es de alimentación de voltaje (+5V), el negro es de tierra (GND), y el cable blanco, a veces amarillo, es el cable por el cuál se controla la posición en que se debe situar el servomotor.

El diagrama de un servomotor típico se muestra en la figura. 2.1.

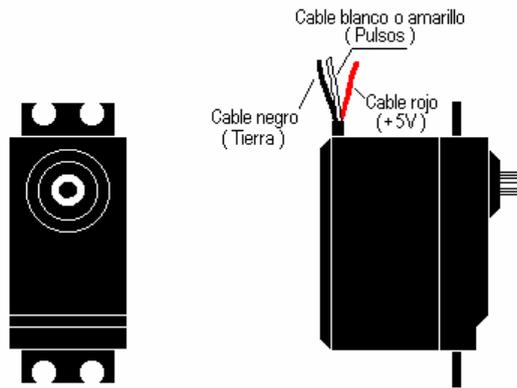


Figura. 2.1. Diagrama servomotor típico

Además dentro del servomotor existe una tarjeta controladora que le indica a un pequeño motor de corriente directa, cuántas vueltas debe girar para acomodar la **flecha** (engrane exterior) en la posición deseada, y una resistencia variable (potenciómetro) que está sujeta a la flecha, la cual indica hacia donde está rotada en todo momento; con lo que la tarjeta controladora determina hacia dónde mover al motor.

En la figura. 2.2 se observa cómo están dispuestas las piezas dentro del servo:

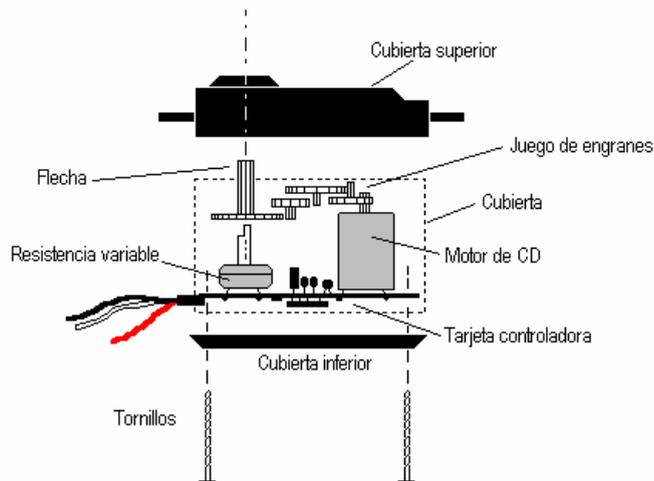


Figura. 2.2. Piezas dentro del Servomotor

La posición deseada del servomotor se determina por medio de pulsos, por lo que todo el tiempo debe haber una señal de pulsos en el cable de control. Si por alguna razón se necesita tener el servomotor prendido y no se dispone de una señal de pulsos, entonces se debe **aterizar el cable de control** conectándolo a cero voltios, caso contrario se arriesga a que la señal de 60 Hz inducida de las paredes haga que el servo se mueva sin control.

2.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL SERVO

Para realizar el control de posición de un servomotor se requiere una señal que consiste en una serie de pulsos, siendo la duración del pulso la que indica el ángulo de giro del servo, por lo que cada servomotor tiene sus márgenes de operación que corresponden al ancho del pulso ya sea máximo o mínimo. Los tiempos más generales de duración del pulso es de 0.5 ms a 2.5 ms, que corresponden a la posición de ambos extremos del servo, por lo que el tiempo de 1,5 ms indica la posición central, y los otros tiempos de duración del pulso lo dejan en posiciones intermedias. Estos tiempos de duración del pulso suelen ser los recomendados, sin embargo es posible emplear pulsos menores de 0.5 ms o mayores de 2.5 ms, lo que permite conseguir giros con ángulos mayores de 180°, pero si se sobrepasan los límites de giro del servo, éste comenzará a emitir un zumbido, indicando que se debe cambiar el tiempo de duración del pulso. Esto lo podemos apreciar en la figuras. 2.3 y 2.4.

El intervalo de tiempo entre pulsos no es crítico, por lo que pueden ser distintos entre uno y otro pulso, pero se suelen emplear tiempos entre 10 ms y 30 ms. Si el intervalo entre pulsos es inferior al mínimo puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido y la vibración del engrane de salida. En cambio si el intervalo es mayor que el máximo el servo pasará a estado dormido entre pulsos, esto provoca que el servo se mueva con intervalos pequeños.

Es importante destacar que para que un servo se mantenga en la misma posición durante un cierto tiempo, es necesario enviarle continuamente el pulso correspondiente, de este modo si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición intentará resistirse, pero si se deja de enviar pulsos (o el intervalo entre pulsos es mayor del máximo) entonces el servo perderá fuerza y dejará de intentar mantener su posición; de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

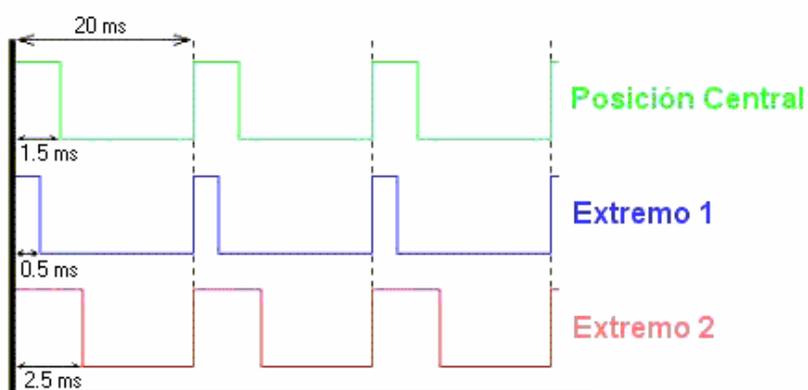


Figura. 2.3. Generación de pulsos para un servomotor

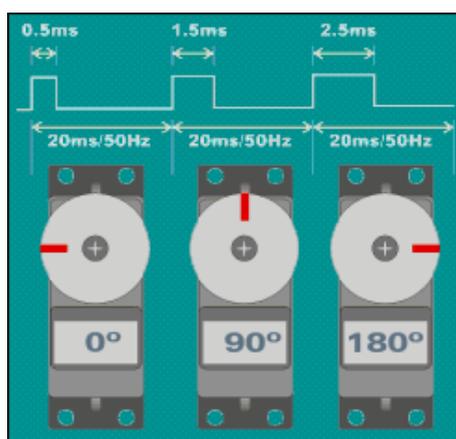


Figura. 2.4. Giro del motor según la duración del pulso.

Por último, los servomotores en valores de frecuencia responden adecuadamente a pulsos desde 50 Hz hasta aproximadamente 100 Hz, pero una

vez escogida una frecuencia de operación se debe procurar mantener la misma frecuencia todo el tiempo.

2.1.2 GENERACIÓN DE PULSOS (PWM)

Para cada tipo de servo que se desee controlar se deberá realizar una prueba preliminar, para encontrar exactamente el período y la duración de los pulsos que mejor le funcionen, para lo cual se hace uso de un osciloscopio y un generador de señales que facilita mucho las cosas, pero si no se cuenta con estas herramientas se puede construir un generador de pulsos barato y sencillo con un circuito integrado 555, como se muestra en la figura 2.5.

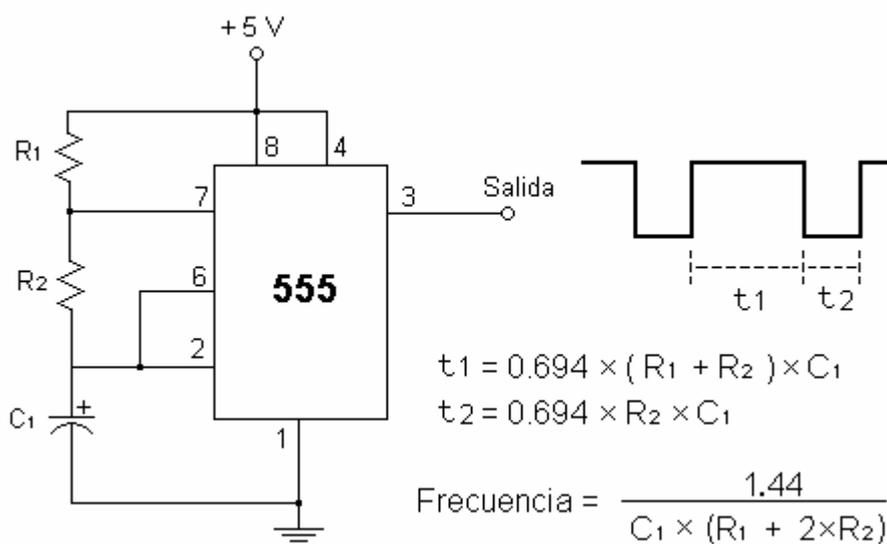


Figura. 2.5 Generador de pulsos con 555

En la tabla 2.1 se indican los tiempos de duración de los pulsos y la disposición de cables de varias marcas que comercializan servos.

Fabricante	Duración pulso (ms)			Hz	disposición de cables		
	min.	neutral.	máx..		+ batt	-batt	pwm.
Futaba	0.9	1.5	2.1	50	rojo	negro	blanco
Hitech	0.9	1.5	2.1	50	rojo	negro	amarillo
Graupner/Jr	0.8	1.5	2.2	50	rojo	marrón	naranja
Multiplex	1.05	1.6	2.15	40	rojo	negro	amarillo
Robbe	0.65	1.3	1.95	50	rojo	negro	blanco
Simprop	1.2	1.7	2.2	50	rojo	azul	negro

Tabla. 2.1. Valores de Control y disposición de cables

2.1.3 DETALLES OPERATIVOS IMPORTANTES CUANDO SE TRABAJA CON SERVOMOTORES

A continuación se indican algunos detalles operativos importantes cuando se trabaja con servomotores.

- Hay que tener mucha atención con las **TIERRAS**, por lo tanto la tierra (cable negro) del servo tiene que ir conectada a la tierra de su fuente de alimentación, y del elemento con el que se esté controlando; ya sea un microcontrolador o una computadora.
- Si se usa cables demasiado largos para controlar los servos, es probable que se tenga ruido (tartamudeo) en los servos, esto ocurre porque mientras más largo es el cable resulta más vulnerable al ruido electromagnético (efecto antena) e incluso puede ser perturbado por señales de otros servos. Esto se soluciona utilizando cable blindado (coaxial) aterrizando el blindaje.
- No hay que cargar demasiado peso a los servos, porque en operación normal **NO** se debe calentar, pero si se calienta es que esta sosteniendo más peso del que está en capacidad de hacerlo; pudiendo sufrir un daño irreversible. Entonces si el servo tiene que soportar mucho peso, se debe rediseñar el brazo de palanca o colocar resortes (o ligas) para ayudarle a

sostener el peso. Además se debe recordar que básicamente un servo es para **mover** algo; no para **cargarlo**.

- Los servos envejecen con el uso, por lo que si se los trata bien pueden durar funcionando por mucho tiempo, pero otros se hacen tartamudos incorregibles después de haberlos hecho trabajar en forma forzada durante 85 horas aproximadamente. Si el servo comienza a tartamudear y se está seguro que la causa no es ninguna de las anteriores, todavía se puede tratar de recalibrarlo; esto significa cambiar el intervalo de tiempo entre los pulsos de control hasta encontrar el nuevo pulso más óptimo, otra opción es desarmarlo y limpiar el potenciómetro que tienen dentro con la utilización de algún spray limpiador. Si todo falla y el servo definitivamente ya no quiere funcionar bien, se puede aprovechar el motor con la caja de engranes, y a veces se puede aprovechar incluso parte de la electrónica de control de su tarjeta para convertirlo en un motor bidireccional.

2.2 SENSORES

Los sensores permiten al robot reaccionar de manera autónoma ante la presencia de fallas, antes de que se produzca un eventual bloqueo general del sistema o la ejecución de tareas inconsistentes según la planeación realizada. También ofrecen la posibilidad de emplearlos en robots para desarrollar tareas bajo condiciones parcialmente predeterminadas, en las que la capacidad de decisión del mismo, sustituye la rigurosa programación de cada uno de sus movimientos.

En los siguientes dos subtemas se presenta una breve descripción de los sensores utilizados.

2.2.1 SENSORES INFRARROJOS

Los sensores infrarrojos tienen su uso dentro de los sensores de proximidad o de rango, así llamados por muchos autores debido a que los sensores de proximidad indican la cercanía de un objeto al sensor, por lo tanto la distancia que debe estar el objeto para que se active el sensor depende del rango de funcionamiento y la calibración del mismo y esta distancia puede variar entre milímetros a algunos pies; dependiendo del sensor. Esta característica permite que los sensores puedan ser utilizados para medir la distancia entre el objeto y el sensor, es decir son usados como sensores de rango. Por consiguiente a continuación se describen los usos de los sensores de proximidad y rango:

- **Los sensores de proximidad** en robótica pueden ser usados para detectar la presencia o ausencia de un mecanismo o un objeto.
- **Los sensores de rango** son muy útiles para determinar la localización de un objeto, y por consiguiente la detección de obstáculos.

A continuación se describe las características y funcionamiento del sensor infrarrojo SHARP IS471F que se consideró para su utilización dentro del proyecto.

1 Características del sensor SHARP IS471F

Este sensor es inmune a interferencias de luz normal e incorpora un modulador/demodulador integrado en su carcasa, y a través de su pata 4 modula la señal emitida por un diodo LED de infrarrojos externo, para que sea captada por el IS471F mediante el receptor, por lo tanto cuando un objeto se sitúa frente del conjunto emisor/receptor del sensor, parte de la luz emitida por el led es reflejada y demodulada activando a nivel bajo la salida de la pata 2; si la señal captada es suficientemente fuerte.

El uso de luz IR modulada tiene por objeto hacer al sensor relativamente inmune a las interferencias causadas por la luz normal de un bombillo o la luz del sol.

En la figura 2.7 se muestra el sensor SHARP IS471F.

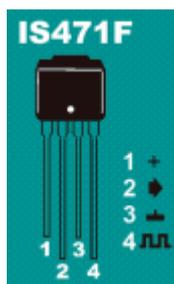


Figura. 2.7. Sensor Sharp IS471F

2 Funcionamiento del sensor SHARP IS471F

Como puede observarse en el esquema de la figura 2.8 la distribución de las patas del sensor es la siguiente: la alimentación Vcc y GND del sensor es a través de las patas 1 y 3 respectivamente, la salida del detector es la pata 2 y la salida que modula al led emisor externo es la pata 4. En cuanto al circuito externo del sensor se tiene: el potenciómetro P1 varía la distancia a la que es detectado el objeto; con una resistencia baja de este potenciómetro la luz emitida por el diodo infrarrojo será más intensa y por lo tanto será mayor la distancia a la que puede detectar el objeto, y el capacitor es una protección en contra del ruido en la línea de alimentación. En la figura 2.8 se presenta un esquema detallado del circuito necesario para hacer funcionar al sensor.

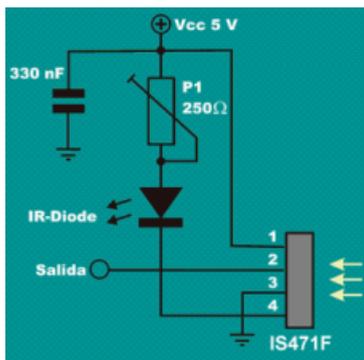


Figura. 2.8. Circuito para funcionamiento del Sensor Sharp IS471F

El circuito de la figura 2.8 es un detector de distancia fija ajustable mediante un potenciómetro, pero para detectar varias distancias se podría conmutar varias resistencias calculando la distancia del objeto en varias pruebas, y a su vez creando una tabla de equivalencias. En cambio para el detector gradual se controla la corriente que llega al diodo emisor mediante un conversor D/A y un circuito de potencia basado en algún transistor; todo esto controlado por un μ Controlador.

2.2.2 SENSORES ULTRASÓNICOS

El sensor ultrasónico basa su principio de funcionamiento en el sonar, que es un principio físico en el cual las ondas de sonido viajan a través de un medio a una velocidad constante, y mediante la medición del tiempo que tarda el pulso de sonido transmitido en regresar por reflexión al choque con un obstáculo; lo que permite determinar la distancia que existe entre el sensor y el obstáculo. Por lo tanto, este tipo de sensor es utilizado como sensor de rango.

El sensor ultrasónico transmisor utiliza un transductor ultrasónico direccional que emite un haz localizado en la banda del ultrasonido, por encima de los 20Khz, este haz viaja en línea recta a una velocidad aproximada de 1500m/s cuando se transmite en el agua y a una velocidad de 340m/s aproximadamente cuando se transmite en el aire, y cuando el haz encuentra un objeto choca con él y parte del

haz es reflejado produciendo un “eco”, este reflejo es detectado por un sensor ultrasónico receptor, para luego ser amplificado y transformado en una señal que permita determinar la distancia a la cual se encuentra el objeto.

La distancia a la cual se encuentra el objeto estará mejor precisada cuando mayor sea la directividad del haz emitido, en otras palabras cuanto más estrecho sea el haz de energía el objeto se detectará con mayor precisión.

Las ventajas que ofrecen los sensores ultrasónicos son múltiples entre ellas se tienen: el bajo costo, mayor rango de alcance que los dispositivos con luz infrarroja, detectan los objetos antes de que exista contacto físico evitándose de esta manera el desgaste prematuro, no son afectados por características externas aleatorias como son la intensidad o tipo de luz; ya sea natural o artificial.

A continuación se describe las características y funcionamiento del sensor ultrasónico SRF04 que se consideró para su utilización dentro del proyecto.

1 Características del sensor SRF04

El sensor ultrasónico SRF04 es un sensor de proximidad y de rango capaz de detectar objetos y determinar la distancia a la que estos se encuentran en un rango de 3 a 300 cm, el cual funciona mediante ultrasonidos y contiene toda la electrónica encargada para realizar la medición de la distancia entre el objeto y el sensor. Este sensor bajo consumo de energía y un tamaño muy reducido con una gran precisión y bajo precio; por lo que es de gran utilidad en el campo de la robótica móvil.

En la figura 2.9 se muestra los terminales de conexión del sensor ultrasónico SRF04.



Figura. 2.9. Terminales de conexión del sensor SRF04

2 Funcionamiento del sensor SRF04

El sensor ultrasónico SRF04 funciona mediante la emisión de impulsos ultrasónicos inaudibles para el oído humano, estos impulsos emitidos viajan a la velocidad del sonido hasta chocar con un objeto, momento en el cual parte de la onda de sonido es reflejada y captada por el receptor de ultrasonidos. El controlador incorporado en el sensor ultrasónico emite una ráfaga de impulsos ultrasónicos y espera a que el receptor capte los impulsos reflejados para comenzar a medir el tiempo que tarda en llegar cada uno de ellos, este tiempo se traduce en un pulso de ancho proporcional a la distancia a la que se encuentra el objeto.

En la figura 2.10 se muestra el sensor ultrasónico SRF04.

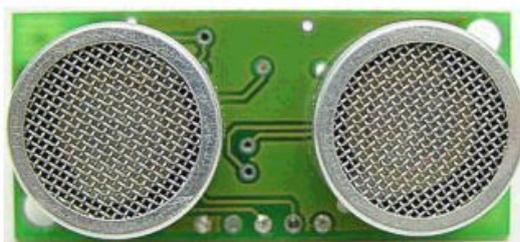


Figura. 2.10. Emisores de sonido del sensor SRF04

Desde el punto de vista práctico, lo que se debe realizar para poner en funcionamiento al sensor ultrasónico SRF04 es enviar una señal de disparo con un ancho de pulso mínimo de 10 μ s en el pin 3 del sensor, y en el pin 2 del sensor se realiza la lectura del ancho de pulso del eco reflejado para determinar si es proporcional al eco emitido, pero en el caso de que no se produzca ningún eco por que no se encontró un objeto, el pulso de eco reflejado tiene una longitud aproximada de 36 ms. La realización de la lectura del ancho de pulso del eco reflejado se tiene que realizar con un retardo de 10 ms entre lecturas, con el fin de que el circuito se estabilice.

En la figura 2.11 se observa el diagrama de tiempos del sensor ultrasónico SRF04

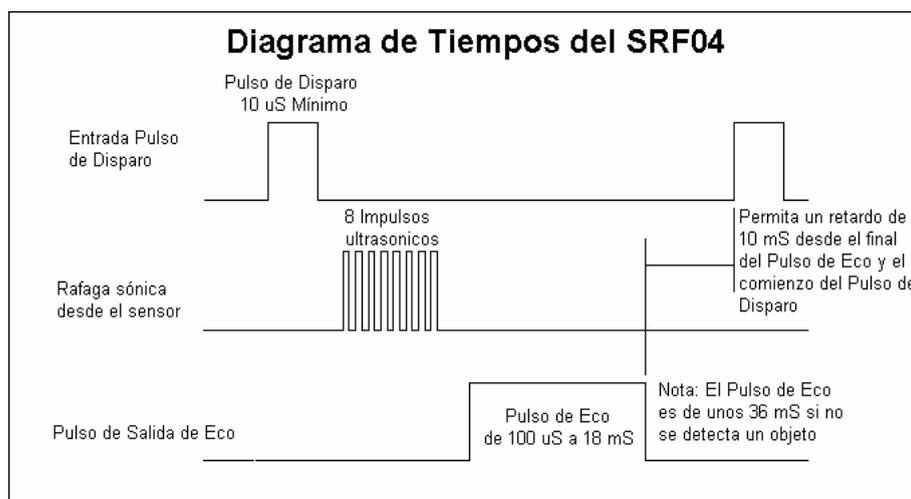


Figura. 2.11. Diagrama de tiempos del SRF04

En la tabla 2.2 se muestran tabuladas las principales características técnicas del sensor ultrasónico SRF04.

Tensión	5V
Consumo	30 mA Tip. 50mA Max.
Frecuencia:	40 KHz.
Distancia Mínima:	3 cm.
Distancia Máxima:	300 cm.
Sensibilidad:	Detecta un palo de escoba a 3 m.
Pulso de Disparo	10 uS min. TTL
Pulso de Eco:	100 uS - 18 mS
Retardo entre pulsos:	10 mS Mínimo
Pulso de Eco:	100 uS - 18 mS
Tamaño:	43 x 20 x 17 mm
Peso:	10 gr.

Tabla. 2.2. Características técnicas del SRF04

En la figura 2.12 se muestra el diagrama del ángulo efectivo de funcionamiento del sensor ultrasónico SRF04.

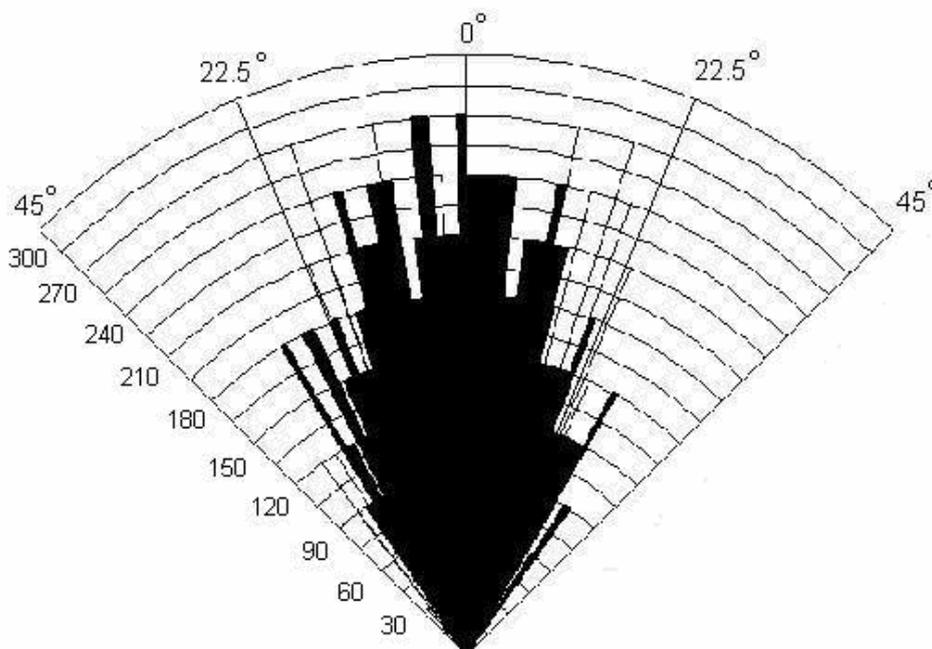


Figura. 2.12. Ángulo efectivo del SRF04

Entre las aplicaciones del sensor ultrasónico SRF04 se destaca su utilización como detector de obstáculos en robots con navegación autónoma, en donde los

robots son de exploración para encontrar camino sorteando obstáculos. En este tipo de robots que tengan pequeño tamaño es suficiente utilizar un solo sensor ultrasónico, por que su cono de detección de 30 grados es suficiente para cubrir la parte frontal del robot, pero en robots de mayor envergadura es necesario utilizar varios sensores ultrasónicos; para cubrir de una forma segura todo el perímetro requerido. Por ejemplo, para un robot de unos 30 cm es necesario un mínimo de 2 sensores para cubrir solo el frente, y si se desea cubrir todo el perímetro de avance es necesario de 3 a 5 sensores para el mismo tamaño, por lo tanto, una solución en este tipo de dificultad es la de montar al sensor ultrasónico en un servomotor; con lo que se consigue mover el sensor en un radio de 180 grados.

2.2.3 SENSOR DE VISIÓN

La visión es un medio muy poderoso de sensar el entorno que nos rodea y una de las principales razones para su uso es el reciente desarrollo que ha tenido los sensores de visión de alta calidad en la industria de la televisión, por lo que los sensores de estado sólido de la industria de video pueden ser utilizados perfectamente en aplicaciones con robots. Además, la visión es un medio sensorial en donde no existe contacto físico entre el sensor y el objeto, permitiendo que la adquisición de datos sea muy rápida; en el orden de los 20ms.

Los sistemas de visión por computadora se basan en la adquisición de imágenes por medio de cámaras de video, estas imágenes son procesadas y finalmente una vez realizado el procesamiento pueden ser utilizadas dentro de las aplicaciones requeridas.

2.2.3.1 CAMARA WIRELESS

La microcámara inalámbrica es un kit en el que incluye una diminuta cámara de vídeo de alta resolución con más de 380 líneas de televisión, y un micro transmisor de audio y video de 50 mW que está incorporado en la misma carcasa de la cámara.

Para el procesamiento de la información transmitida se dispone de un receptor que incorpora un sintonizador de TV y una tarjeta recepción, además tiene los adaptadores de corriente que permite conectar el receptor a la red de 120V y un adaptador de pila de 9 voltios para la microcámara.

En la figura 2.13 se muestra cada parte que constituye el kit de microcámara wireless.



Figura. 2.13. Kit de microcámara inalámbrica

Las características del kit de microcámara se indican a continuación: a pesar del pequeño tamaño de la cámara el transmisor incorporado a la carcasa de la misma tiene la potencia de un vídeo sender normal, con lo cual la cámara posee un alcance de transmisión de 50 a 200 metros en línea de vista y dependiendo del número de obstáculos varía este rango, por lo que en pruebas realizadas se logró distancias de más de 60 metros atravesando paredes y techos.

En la tabla 2.3 se tienen las principales características de la microcámara inalámbrica.

Elemento de imagen	Sensor CCD Color de 1/3
Sistema de TV	PAL
Resolución	380 líneas de Tv.
Frecuencia de escaneado	50 Hz
Iluminación mínima	3 lux
Micrófono	Incorporado en cámara
Potencia de salida	50 mw
Frecuencia de salida	900MHz-1200MHz
Alimentador cámara	9 v /80 mA(pila), 8 v. (adaptador)
Alimentador receptor	12 v. DC
Duración de la pila 9v	4 a 5 horas
Peso aproximado kit	850 gr.

Tabla. 2.3. Características de la microcámara inalámbrica

2.3 MICROCONTROLADORES

Los microcontroladores como su nombre lo indica sirven para controlar sistemas automáticos o procesos, mediante instrucciones especiales y está constituido por un procesador con memoria *ROM* y *RAM*, puertos de entrada/salida, y otros dispositivos de propósito especial como: convertidores análogo/digitales, contadores, temporizadores y puertos de comunicación, por lo que se puede considerar como un microcomputador con funciones especiales.

En la figura 2.14 se indica la estructura interna típica de un microcontrolador.

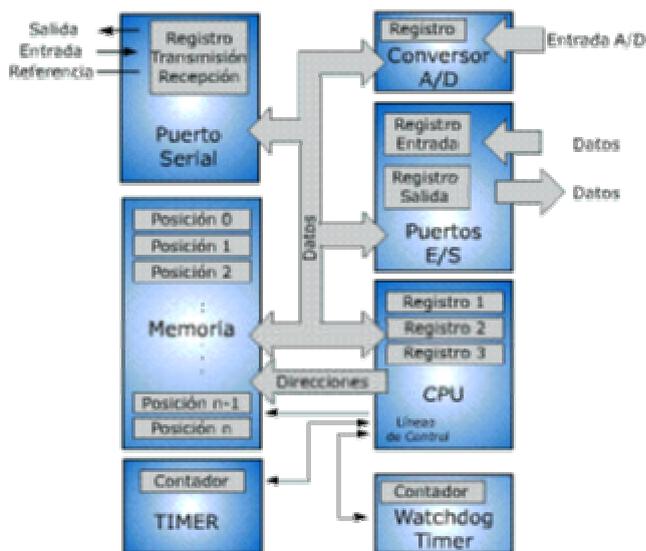


Figura. 2.14. Estructura típica de un Microcontrolador

Entre las características más relevantes de un microcontrolador se pueden enunciar las siguientes:

- La memoria de programa generalmente es una Flash EEPROM.
- Tiene puertos de Entrada y Salida (Configurables por software).
- Poseen contadores de propósito especial.
- Tiene incluido un reloj del sistema que permite contabilizar tiempo.
- Algunos modelos incluyen convertidores A/D.
- Tiene Memoria EEPROM para almacenar datos.
- Tiene puerto de comunicaciones.
- Manejan velocidades de operación hasta 20 MHz.
- Algunos de estos dispositivos tienen puerto de comunicaciones serial.
- Tienen entradas para interrupción.
- La programación es rápida.
- Las herramientas de desarrollo son económicas y se encuentran disponibles en el Internet, las cuales incluyen el ensamblador y simulador.

Los microcontroladores por ser dispositivos muy versátiles pueden ser utilizados en muchas aplicaciones que se relacionen con medida, almacenamiento, control, cálculo, entre otras, por lo que pueden ser encontrados dentro de los teclados, módems, impresoras y otros periféricos.

En un microcontrolador PIC, la arquitectura del procesador sigue el modelo Harvard en la cual el CPU se conecta de forma independiente y con buses distintos, con la memoria de instrucciones y con la memoria de datos. Este tipo de arquitectura permite a la CPU acceder simultáneamente a las dos memorias, lo que propicia numerosas ventajas en el funcionamiento del sistema.

En la figura 2.15 se ilustra la arquitectura Harvard, la cual dispone de dos memorias independientes tanto para datos como para instrucciones permitiendo accesos simultáneos.

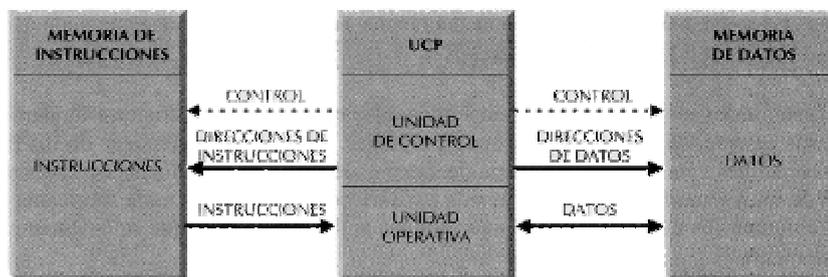


Figura. 2.15. La arquitectura Harvard.

En los microcontroladores PIC la memoria de programa es interna y del tipo EEPROM o FLASH, en la cual se aplica la técnica de segmentación pipe-line en la ejecución de las instrucciones, el que permite al procesador realizar al mismo tiempo la ejecución de una instrucción y la búsqueda del código de la siguiente, de esta forma se puede ejecutar cada instrucción en un ciclo de maquina, que corresponde a cuatro ciclos de reloj, pero las instrucciones de salto ocupan dos ciclos de maquina.

Los microcontroladores PIC poseen un procesador de arquitectura RISC (Computador de Juego de Instrucciones Reducido), el cual dispone de un repertorio de 33 instrucciones para gama baja, 35 instrucciones para los de la gama media y casi 60 instrucciones para los de la gama alta, en donde todas las instrucciones son ortogonales, es decir que cualquier instrucción puede manejar cualquier elemento de la arquitectura como fuente o como destino. Además su arquitectura esta basada en un “banco de registros” lo que significa que todos los objetos del sistema (puertas de E/S, temporizadores, posiciones de memoria, etc.) están implementados físicamente como registros.

Para el presente proyecto se utiliza un microcontrolador **PIC 16F877**, el cual posee las características generales de los microcontroladores PIC descritas anteriormente y las demás características específicas que se indican a continuación:

- Procesador de Arquitectura RISC avanzada.
- Juego de 35 instrucciones con 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan dos.
- Frecuencia de 20MHz.
- Hasta 8 K palabras de 14 bits para la memoria de código, tipo FLASH.+
- Hasta 368 bytes de memoria de datos RAM.
- Hasta 256 bytes de Memoria de Datos EEPROM.
- Hasta 14 fuentes de Interrupción internas y externas.
- Pila con 8 niveles.
- Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- Perro Guardián (WDT).
- Código de Protección Programable.
- Modo SLEEP de bajo consumo.
- Programación serie en circuito de dos patitas.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5.5 V.
- Bajo consumo (menos de 2 mA a 5 V y 5 MHz).
- Timer0: temporizador-contador de 8 bits con predivisor de 8 bits.

- Timer1: temporizador-contador de 16 bits con predivisor.
- Timer2: temporizador-contador de 8 bits con predivisor y postdivisor.
- Dos módulos de Captura-Comparación-PWM.
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto serie síncrono (SSP) con SPI e I2C.
- USART.
- Puerta Paralela esclava (PSP).

En la figura. 2.16 se aprecia el diagrama de asignación y conexionado de los pines del encapsulado PIC 16F877.

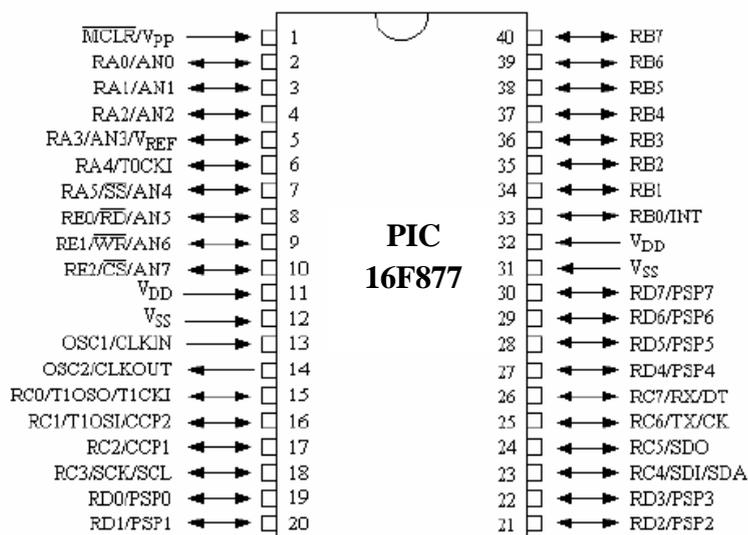


Figura. 2.16. Microcontrolador PIC 16F877

2.4 MICROCONTROLADORES DE RADIO FRECUENCIA

Para el desarrollo del presente proyecto se utiliza el kit de desarrollo rfPIC correspondiente a la empresa Microchip, a continuación se describe las partes que componen el mencionado kit.

2.4.1 MICROCONTROLADOR TRANSMISOR

Los elementos microcontroladores rfPIC integran la potencia de los PICmicro® de Microchip, con capacidades de comunicación wireless para aplicaciones de radio frecuencia con baja potencia, estos microcontroladores de radio frecuencia poseen una arquitectura RISC que permiten una fácil programación, por lo que son familiares para todos los diseñadores alrededor del mundo.

En la figura 2.17 se observa el encapsulado del microcontrolador 12F675, el cual es un transmisor con modulación ASK, de bajo costo y alto desempeño.

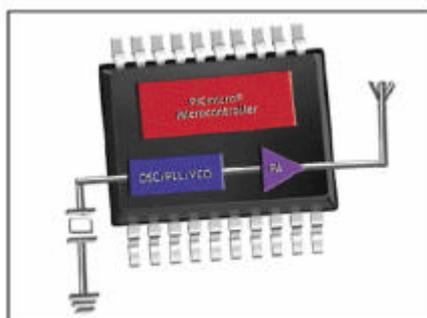


Figura.2.17 rfPIC 12F675

El microcontrolador de radio frecuencia 12F675 que utiliza la banda UHF para transmisión de datos, viene en dos versiones que son: el microcontrolador rf12F675K para la frecuencia de 315 MHz y el microcontrolador rf12F675F para la frecuencia de 433.92 MHz.

Los microcontroladores de radio frecuencia tienen un gran campo de aplicaciones, entre las que se pueden enumerar:

- Comando y control remoto, de forma inalámbrica.
- Entrada remota sin ningún tipo de llave.
- Sistemas de seguridad.

- Aplicaciones telemétricas de baja potencia.

2.4.1.1 Características del Módulo Transmisor

El microcontrolador rPIC12F675 forma parte del módulo de transmisión diseñado para aplicaciones de desarrollo de los microcontroladores de radio frecuencia, este módulo consta de los siguientes elementos:

- 2 pulsadores conectados a GP3 y GP4
- 2 potenciómetros conectados a GP0 y GP1
- habilitador RF (RF_{EN}) conectado a GP5
- Datos ASK ($DATA_{ASK}$) conectados a GP2
- Zócalo opcional de 8 pines para la versión de PIC12F675 con encapsulado de 8 pines
- Seleccionador de fuente de energía mediante la utilización de un jumper

En la figura 2.18 se muestra el módulo de transmisión con todos sus elementos.

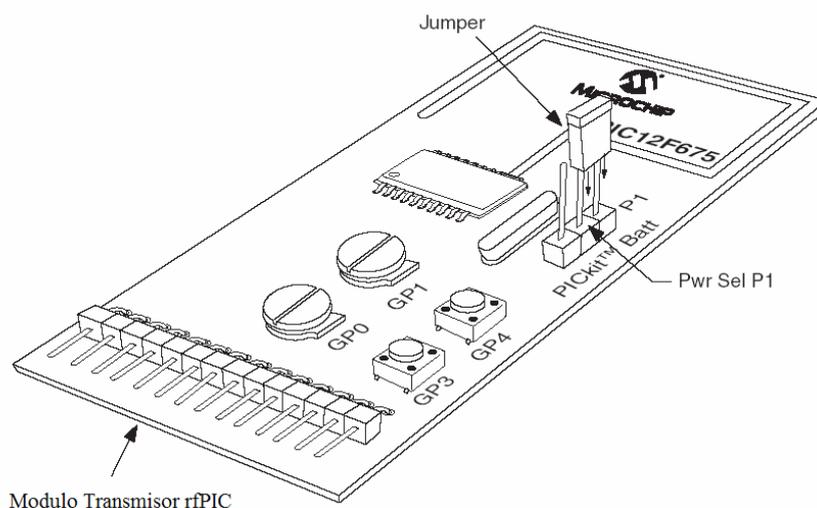


Figura.2.18 Estructura del Módulo Transmisor

Para poner en funcionamiento el módulo transmisor es necesario energizar el circuito, seleccionando la fuente de energía mediante la utilización del jumper P1, porque se tiene una fuente interna y otra externa, es así que si se desea seleccionar la fuente externa es necesario ubicar el jumper en los pines 1 y 2, pero si se quiere utilizar la batería de litio de 3V incorporada en el módulo es necesario ubicar el jumper en los pines 2 y 3; de esta manera el módulo puede ser empleado en forma portable.

2.4.1.2 Programación del Módulo Transmisor

Para realizar la programación del microcontrolador rfPIC12F675 se utiliza el programador PICkit Starter Kit, la conexión entre el módulo transmisor con el programador se detalla en los siguientes pasos.

Paso 1: Remover el PIC16F676 o el PIC12F676 del zócalo del PICkit Starter Kit.

Paso 2: Conectar el módulo transmisor en la cabecera de expansión del PICkit Starter Kit, conector J3.

Paso 3: El rfPIC12F675 del módulo transmisor se convierte ahora en el elemento a programar.

En la figura 2.19 se ilustran los pasos a seguir para realizar la conexión del módulo transmisor con el programador.

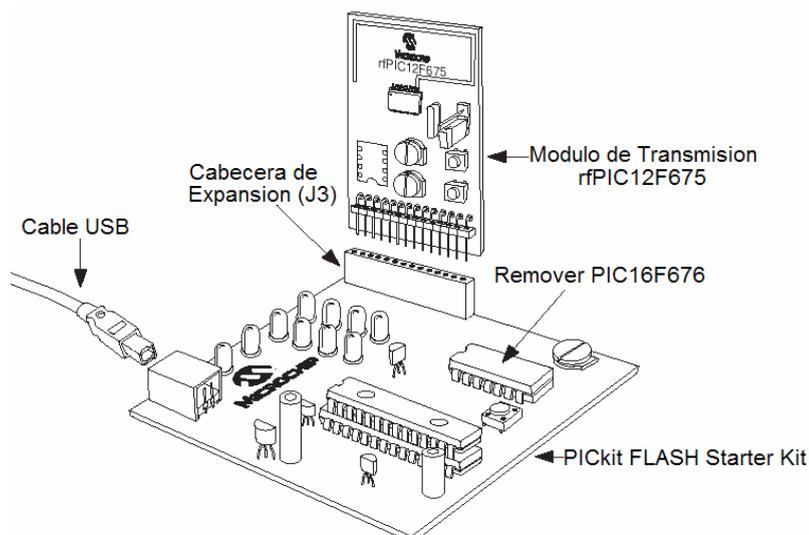


Figura. 2.19 Forma de Programar el módulo rfPIC12F675

2.4.2 MICROCONTROLADOR FLASH 12F675 CON TRANSMISOR ASK/FSK

El microcontrolador RFpic 12F675 es un diseño de transmisor ASK/FSK de corto alcance, bajo costo, y de alto rendimiento de transmisión en la banda UHF.

2.4.2.1 Características Técnicas del Microcontrolador 12F675

A continuación se enumera las características técnicas del microcontrolador 12F675:

- Velocidad de operación: oscilador interno de 4MHz, calibrado a $\pm 1\%$
- Capacidad de interrupción
- 8 niveles de pila
- Modos de direccionamiento directo e indirecto
- Memoria:
 - Memoria FLASH de programa 1024 x 14 palabras
 - Memoria EEPROM de datos 128 x 8 bytes
 - Memoria SRAM de datos 64 x 8 bytes

100 000 escrituras en FLASH

1 000 000 escrituras en EEPROM

Retención de datos FLASH/EEPROM mayor a 40 años

- Protección de código programable
- 6 pines de entrada/salida, weak pull-ups y detección de cambio en pin
- Comparador análogo de 16 niveles de referencia interna
- Conversor análogo/digital 10 bits, 4 canales
- Timer0 con 8 bits timer/contador con 8 bits de prescaler
- Timer1 con 16 bits timer/contador con 3 bits de prescaler
- 5 us de reacción del SLEEP con 3V de alimentación
- Consumo bajo de energía
- 14 mA transmitiendo +6dBm a 434 MHz
- 4 mA transmitiendo -15dBm a 434 MHz
- 500 uA, 4.0 MHz INTOSC (Oscilador interno)
- Rango de voltaje para operación 2.0 a 5.5 V
- Rango de temperatura industrial.

2.4.2.2 Características de Transmisión del Microcontrolador 12F675

A continuación se enumera las características de transmisión del microcontrolador 12F675:

- Tasa de transmisión de datos ASK 0-40 Kbps
- Tasa de transmisión de datos FSK 0-40 Kbps
- Potencia de salida +10 dBm a -12 dBm en 4 pasos
- Consumo de potencia ajustable para transmisión

En la figura 2.20 tenemos la distribución de pines del microcontrolador 12F675 el cual tiene 20 pines.

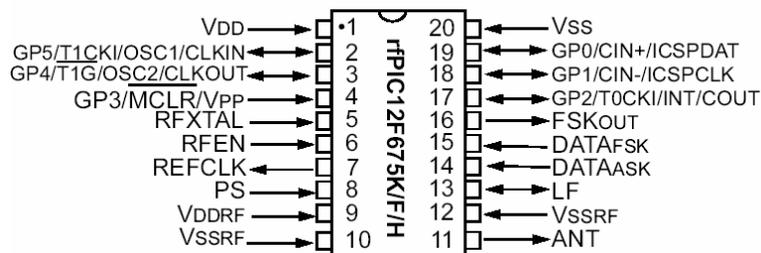


Figura.2.20 Distribución de los pines del integrado

2.4.3 MÓDULO RECEPTOR

El módulo de recepción utiliza el microcontrolador rRXD0420, el cual está diseñado para recibir información con modulación ASK en la banda UHF, su diseño le permite tener un alto rendimiento UHF de corto rango.

En la figura 2.21 se indica el módulo receptor rRXD0420.

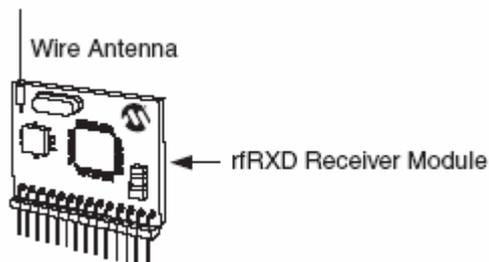


Figura.2.21 Módulo receptor rRXD0420

Las especificaciones para el módulo receptor son:

- Un único canal ajustado a una frecuencia de 315 MHz y 433.92 MHz, dependiendo del modelo del microcontrolador.
- Modulación ASK
- Tasa de transmisión: 4800 baudios

El microcontrolador rfRXD0420 esta implementado en un módulo receptor único, que puede ser empleado de diferentes formas, como se indica a continuación:

- Puede ser conectado a la cabecera de expansión del PICKit FLASH STARTER KIT (programador) con fines demostrativos y de desarrollo.
- El módulo receptor puede ser instalado en cualquier prototipo de prueba, demostración o propósitos de desarrollo.

En la tabla.2.4 se realiza la descripción de los pines del módulo receptor rfRXD0420 UHF ASK/FSK.

Pin	Descripción
1-10	Sin conexión
11	Receptor de Datos de ingreso
12	Sin conexión
13	Alimentación: 2.5 – 5.5 VDC
14	Tierra
ANT	Conexión de la antena

Tabla.2.4 Funciones de los Pines del módulo receptor rfRXD0420

La conexión de la antena se realiza mediante un orificio de 0.055 pulgadas que incorpora el módulo receptor y un alambre simple de diámetro AWG 24, este alambre puede ser construido e insertado en el receptáculo, en donde la longitud del alambre depende de la frecuencia de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$l(\text{metros}) = \frac{c}{f} (\text{Hertz})$$

donde:

$$c = 3 \times 10^8 = \text{velocidad de la luz (m/s)}$$

$$f = \text{frecuencia de recepcion (Hertz)}$$

$$l = \text{longitud de onda (metros)}$$

La longitud del cable de la antena en pulgadas puede ser encontrado para una frecuencia dada, aplicando la siguiente formula:

$$\text{longitud de cable de la antena(pulg adas)} = 2952.8 / f(\text{MHz})$$

2.4.4 MICROCONTROLADOR rfRXD0420

El microcontrolador rfRXD0420 es un receptor de corta distancia, bajo costo y con un diseño compacto, por lo que necesita de pocos elementos externos para convertirse en un módulo receptor completo; cubriendo frecuencias de 300 MHz a 450 MHz. Además este microcontrolador de radio frecuencia está en la capacidad de manejar modulaciones ASK, FSK y FM, siendo de esta manera compatible con todos los elementos de las series de los transmisores RF y rfHCS..

A continuación se describen las principales características del microcontrolador receptor de radio frecuencia rfRXD0420:

- Estabilidad de alta frecuencia sobre variaciones de temperatura y voltaje.
- Ganancia LNA ajustable para mejorar rangos de medición.
- Ancho de banda IF seleccionable mediante filtro cerámico externo. La frecuencia IF esta en el rango de 455 KHz a 21.4 MHz. Esto facilita el uso de filtros cerámicos disponibles en el mercado.
- Indicador de Fuerza de la señal recibida (RSSI) para detección ASK.
- Amplio rango de voltaje de alimentación.
- Emplea ASK para recepción de datos digitales.
- Modulación FM para recepción de señales análogas.

- Demodula FSK/FM usando un detector de cuadratura, también llamado detector de coincidencia de fase.
- Amplificador de bajo ruido (LNA) con ganancia seleccionable.
- Mezclador para conversiones de la señal RF a IF (frecuencia intermedia) seguido de un amplificador IF.
- Cristal oscilador
- Divisor de realimentación: en la versión 420 se divide para 16 y en la versión 920 se divide para 32.
- Amplificador limitador de IF para limitar y amplificar la señal IF y la RSSI.
- Demodulador que consta de un detector de fase (Mixer2) y un amplificador, creando un detector de cuadratura para demodular la señal IF en aplicaciones FSK y FM.
- Amplificador operacional OPA, que puede ser configurado como comparador de decisiones de datos ASK o FSK , o como un filtro para modulación FM.

En la figura 2.22 se indica la configuración de pines del microcontrolador rfRXD0420.

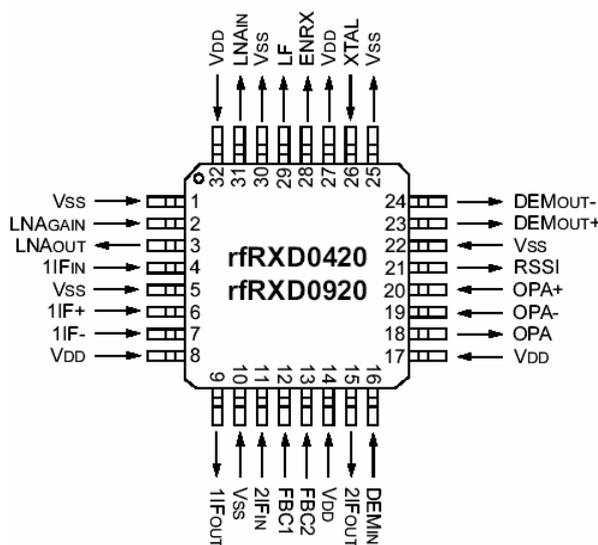


Figura.2.22 Distribución de pines del rfRXD0420

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA MÉCANICA DEL ROBOT

3.1 ROBOTS HEXÁPODOS

Sin lugar a dudas los robots con patas ofrecen una mayor versatilidad que los que funcionan a base de ruedas; un inconveniente en el diseño de esta clase de robots se vio en la dificultad de mantener la sincronización de las patas y el equilibrio del robot, para solucionar este tipo inconveniente es necesario hacer uso de ciertas técnicas de control clásicas; además con el avance de la microelectrónica podemos acceder a herramientas computacionales que hacen más viable la realización de estos sistemas de control.

Principalmente en el desarrollo de un robot hexápodo deben tomarse en cuenta aspectos como son la robustez, el equilibrio, la coordinación de movimientos entre otros; pero el hecho de tomar en cuenta todos los aspectos necesarios para un robot hexápodo hacen que su implementación resulte muy compleja, por lo que la investigación se realizó tomando en cuenta ciertos parámetros importantes como son: el estudio de sistemas hexápodos animales, el diseño del cuerpo, la forma de locomoción, la arquitectura del hardware, entre otros.

Los robots hexápodos a diferencia de los robots cuadrúpedos tienen dos patas más; pero si por una parte es compleja la sincronización de movimientos de las patas en un cuadrúpedo, con mayor razón lo serán las de un hexápodo, por lo que normalmente los prototipos hexápodos tienen seis patas pero no son independientes, sino que mecánicamente o por software las patas se juntan de manera que cuando la una avanza la otra retrocede o cuando la una se levanta la

otra baja, es así que se tienen grupos de patas que funcionan sincronizadamente. La ventaja de tener un mayor número de patas hace que este tipo de robot tenga un mejor equilibrio y por lo tanto mayor estabilidad, esto quiere decir que si por ejemplo el hardware de una de las patas se avería y la pata no funciona, el robot podrá seguir caminando con dificultad pero lo seguirá haciendo.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ROBOTS HEXÁPODOS.

A continuación se describen las características de los robots hexápodos.

3.1.1.1 Grados de Libertad

Los grados de libertad de un robot son los parámetros que determinan la posición y la orientación de las articulaciones que posee el robot, estos parámetros se refieren a los posibles movimientos independientes como pueden ser movimientos giratorios y de desplazamiento. El número de articulaciones es igual al número de grados de libertad, es así que si un robot cuya pata posee 3 articulaciones, entonces tendrá 3 grados de libertad, y podrá moverse en tres direcciones. En la figura 3.1 se muestra un robot con dos grados de libertad.



Figura.3.1.Robot Hexápodo con dos grados de Libertad

3.1.1.2 Zona de Trabajo (Work envelop)

La zona de trabajo es el área de alcance de una articulación robótica y está definida por las dimensiones de las articulaciones y los grados de libertad. Esta se subdivide en áreas diferenciadas entre si, que están dadas por la accesibilidad específica del elemento terminal (punto de contacto con el suelo), y por los límites de giro y desplazamiento que presentan las articulaciones.

3.1.1.3 Velocidad

La velocidad es una característica del robot hexápodo que es determinada por la rapidez de sincronización de sus articulaciones sin perder estabilidad, es por esto que la velocidad depende de la aplicación para la cual el robot sea designado.

3.1.1.4 Factores Mecánicos

Los factores mecánicos se relacionan con los elementos utilizados para la locomoción del robot como son la estructura de las articulaciones, la estructura del cuerpo, y los sitios de ubicación de los demás elementos que constituyen el robot hexápodo. A continuación se presenta una breve explicación de estos factores.

- Los elementos de locomoción son un factor mecánico importante para mostrar la robustez del robot al momento de caminar, por lo que normalmente se utiliza servomotores en el diseño de este tipo de robots por la facilidad que brindan al momento de realizar su control.
- La ubicación del hardware es un factor mecánico considerado también importante, por lo que hay que tomar en cuenta que las cargas queden

compartidas uniformemente sobre cada pata del robot y el centro de gravedad debe estar tan cerca como sea posible al centro de la figura geométrica del robot.

- El diseño de la pata es otro factor mecánico que hay que tomar en cuenta en el diseño del robot. Las patas de una articulación son las más simples de diseñar, pero mediante el diseño de la pata con acoplamientos más complicados ayudan a mejorar la estabilidad al subir y descender obstáculos.

Para realizar el diseño y construcción de un robot hexápodo se tiene que tomar en cuenta principalmente el diseño del conjunto hombro-pata, las mismas que dependiendo de su forma de construcción proveerán al robot de:

- Distintos sentidos de movimientos tanto de las patas como del mismo robot.
- Versatilidad de desplazamiento en diversos terrenos.
- Flexibilidad para escalar obstáculos.
- Equilibrio y estabilidad.

Por estos aspectos mencionados se tiene dos tipos de robots hexápodos según el movimiento de sus patas.

- Hexápodos con locomoción de las patas por remos.
- Hexápodos con articulaciones.

3.1.2 ROBOTS HEXÁPODOS CON LOCOMOCIÓN POR REMOS

En este tipo de robots hexápodos su morfología combina principios biomecánicos avanzados para alcanzar robustez y eficiencia. Su diseño se enfatiza en la simplicidad mecánica siendo este el factor que determina su robustez, por lo que su construcción es sencilla ya que se usa la mínima cantidad

de actuadores y sensores para caminar sobre diversos terrenos ajustándose a la complejidad y diversidad del paisaje natural, es así que la autonomía que presenta este robot le permite moverse libremente en ambientes naturales no planeados. En la figura 3.2 se presenta un robot cucaracha que se asemeja este tipo de robot.



Figura.3.2.Robot hexápodo RHex locomoción por remos

La estructura de este tipo de robot consiste en un cuerpo rígido con seis patas de diseño simple, cada una de estas posee un solo grado de libertad independientemente una de otra, lo que produce un movimiento de la pata en un plano formando una circunferencia es decir, la pata logra dar una vuelta completa.

El algoritmo de este hexápodo se basa en el movimiento de dos parejas de trípede las cuales actúan alternadamente dándole estabilidad mecánica al sistema.

3.1.3 ROBOTS HEXÁPODOS CON ARTICULACIONES

A continuación se realiza la descripción de los robots hexápodos con articulaciones.

3.1.3.1 Descripción de los Hexápodos con articulaciones

En este tipo de robot hexápodo, las extremidades están distribuidas en dos grupos de tres, ubicados uno a cada costado del robot. Estas patas deben ser capaces de sostener de forma estable al robot, y desplazarlo sobre una superficie que puede ser regular o con pequeñas irregularidades. En la figura 3.3 se presenta un ejemplo de este tipo de robot hexápodo.

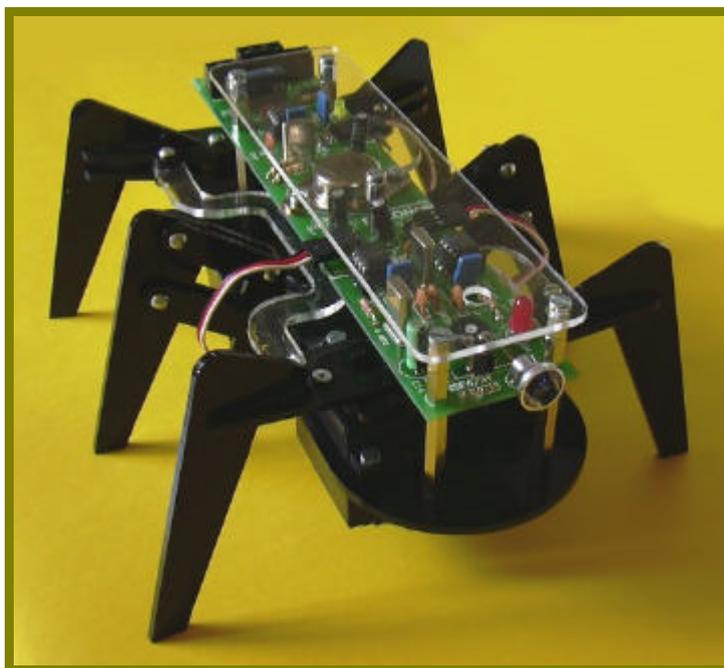


Figura.3.3 Robot hexápodo articulado Enconor

Las articulaciones de un robot hexápodo hacen que este tipo de robot se desplace en cierto número de direcciones, a diferencia del hexápodo por remos que solo se puede desplazar para adelante y para atrás, es decir, en dos sentidos, por lo tanto el grado de libertad de movimiento de las patas esta relacionada con el numero de articulaciones que posean las mismas. Por ejemplo si la pata esta conformada por tres articulaciones, esta podrá desplazarse en tres sentidos.

Para esto la colocación de las patas es uniforme a cada costado, consiguiendo estabilidad y equilibrio, lo cual se complementa con la implantación de extremidades con dos articulaciones, una con movimiento horizontal paralelo a la superficie de desplazamiento, y otra con movimiento vertical que cumple la función de levantar la extremidad para su desplazamiento, mientras se apoya en otras extremidades.

3.1.3.2 Tipos de Locomoción del Robot Hexápodo Articulado

El movimiento de las patas en un robot hexápodo articulado se lo puede realizar de las formas que se detallan a continuación.

- a. **Por secuencia dividiéndoles en trípodés que se alternan:** los dos trípodés que se forman constan de las patas delantera y trasera del un lado y de la pata intermedia del otro lado, con esta disposición se ofrece estabilidad al robot, debido a que se mantiene con sus patas formando una base triangular sobre el terreno. A continuación se describe la secuencia que deben cumplir las patas del robot para que tengan sincronización los trípodés:

- **Primero.-** Se levanta el trípode 1
- **Segundo.-** Se mueven hacia delante las patas del trípode 1 y las patas del trípode 2 hacia atrás al mismo tiempo.
- **Tercero.-** Descienden las patas del trípode 1

Luego se realizan los mismos pasos con el trípode 2. En la figura 3.4 se ilustran los movimientos que debe realizar el robot hexápodo.

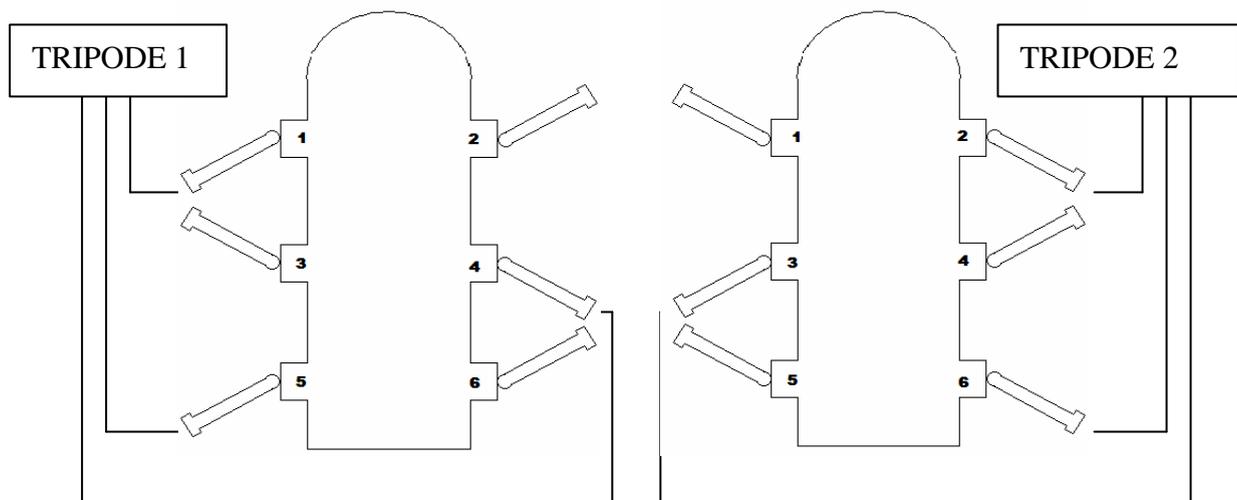


Figura. 3.4. Movimiento del hexápodo por el método de trípodes alternados

- b. Paso de la onda:** es una forma de locomoción más estable pero lenta, que consiste en que solamente una pata se levanta a la vez, comenzando con una de las patas traseras, la cual se levanta y se mueve adelante, el resto de patas se quedan en contacto con la superficie de desplazamiento; la pata levantada entonces baja y el proceso se repite para la pata siguiente del mismo lado, una vez que se haya movido la pata delantera, el procedimiento se repite para el otro lado. La ventaja que presenta este método de movimiento es que hay por lo menos cinco patas en contacto con la superficie, pero la velocidad de este tipo de locomoción es solamente un sexto del método del trípode que se alterna. En la figura 3.5 se muestra un esquema de movimiento para este tipo de locomoción.

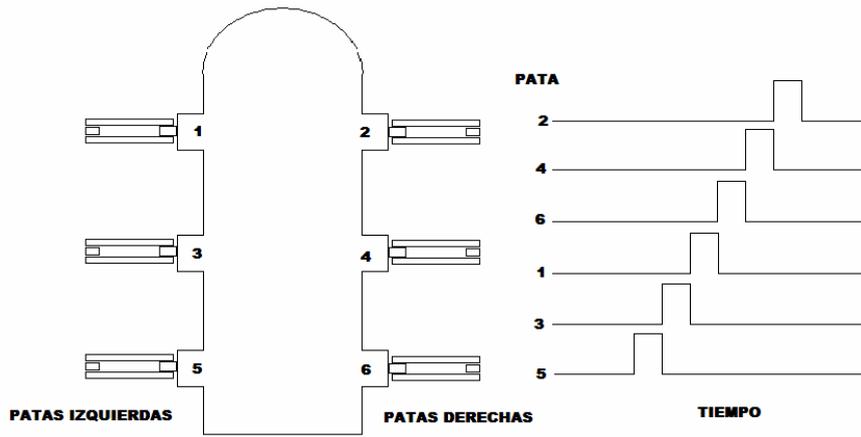


Figura.3.5. Orden de cada pata que se controla para el movimiento del hexápodo

En la figura 3.6 se ilustran los movimientos realizados por las patas del robot utilizando este método de locomoción.

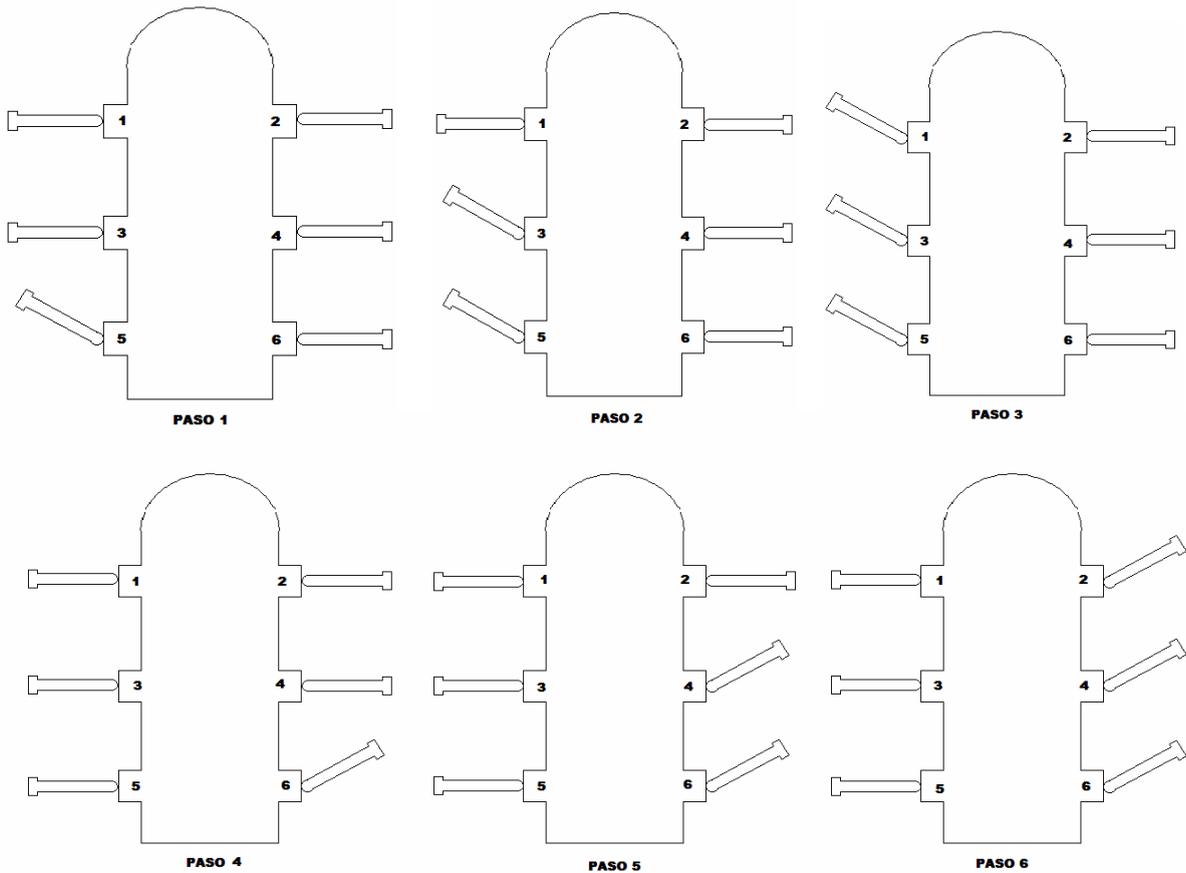


Figura.3.6. Movimientos del robot hexápodo por paso de la onda

- c. **Paso de la Ondulación:** este método de locomoción es más rápido que el paso de la onda, pero más lento que la secuencia por trípodas que se alternan. Para efectuar el movimiento robot hexápodo, se levantan siempre dos patas, las cuales se dirigen hacia delante mientras que las otras cuatro se mantienen en el piso, al tener cuatro patas en contacto con la superficie se gana estabilidad. En la figura.3.7 se muestra un esquema del movimiento que debe realizar el robot para que camine.

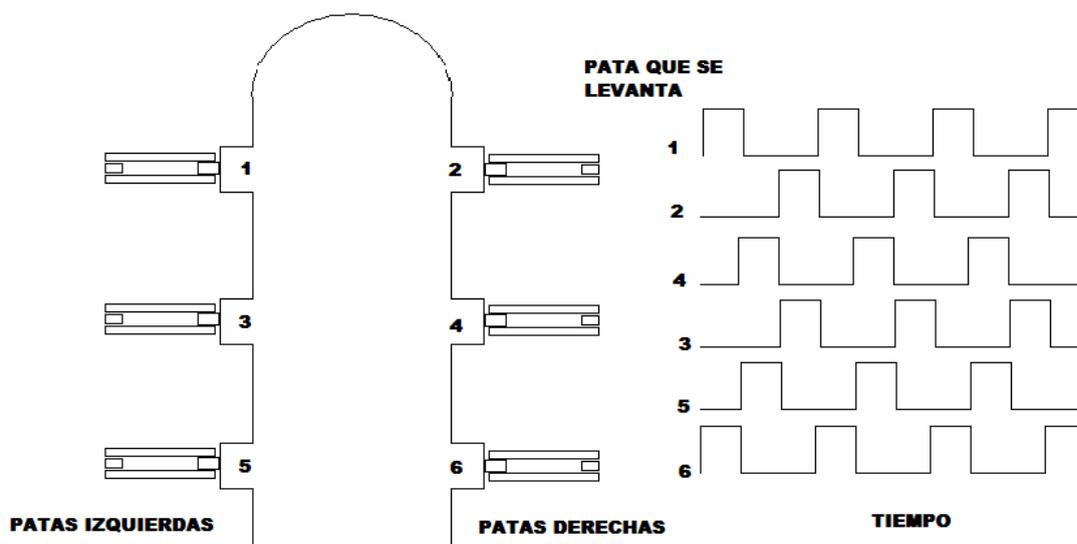


Figura.3.7. Orden de cada pata que se levanta para el movimiento del hexápodo

A continuación se realiza la descripción paso a paso de la sincronización de las patas del robot para que pueda caminar mediante el método paso de la ondulación.

- **Primero.-** Se alza las patas 1 y 6 que están hacia atrás; las patas 2 y 3 que están hacia delante se mantienen en el suelo al igual que las patas 4 y 5 que están en posición central.
- **Segundo.-** Se mueven las patas 1 y 6 hacia delante (alzadas); las patas 2 y 3 se mueven en el piso hacia la posición media mientras que las patas 4 y 5 se ubican hacia atrás.

- **Tercero.-** Descienden las patas 1 y 6 y las demás se mantienen en su posición anterior.
- **Cuarto.-** Se alzan las patas 4 y 5.
- **Quinto.-** Se mueven las patas 4 y 5 hacia el frente; las patas 1 y 6 se arrastran hacia su posición central y las patas 2 y 3 se deslizan hacia atrás.
- **Sexto.-** Bajan las patas 4 y 5.
- **Séptimo.-** Ascienden las patas 2 y 3.
- **Octavo.-** Se dirigen hacia delante las patas 2 y 3; la patas 1 y 6 van hacia atrás tocando el suelo, y las patas 4 y 5 se sitúan en el centro también en contacto con la superficie.
- **Noveno.-** Descienden las patas 2 y 3 manteniéndose las otras en su misma posición.

En la figura 3.8 se muestra los movimientos de acuerdo a los pasos descritos anteriormente.

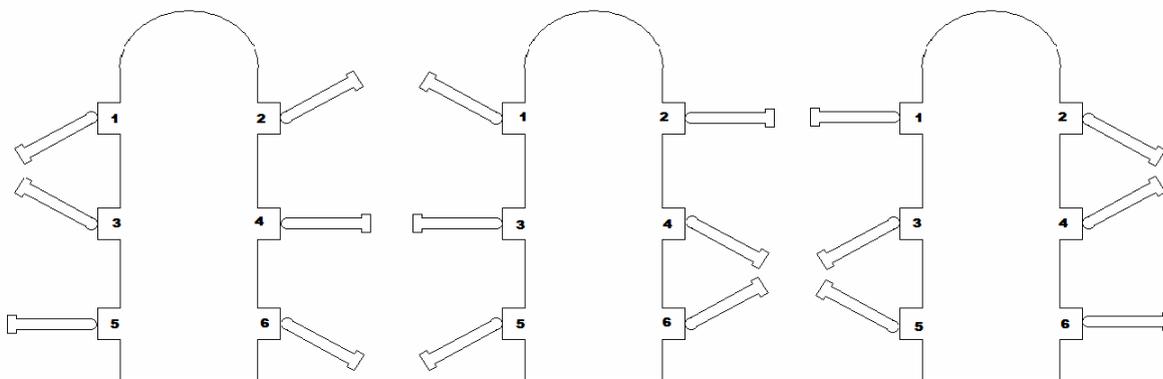


Figura.3.8. Movimiento del robot hexápodo por paso de la ondulación

Debido a que el movimiento de las extremidades es por secuencias, las patas se ubican en diferentes posiciones en cada paso, es por este motivo que los dispositivos más recomendables y que comúnmente se usan en los robots articulados son los servomotores.

3.2 DISEÑO MECÁNICO DEL ROBOT HEXÁPODO

Para el diseño mecánico se utilizó el paquete computacional SolidWorks 2004, debido a que posee las herramientas necesarias para el diseño mecánico en tres dimensiones.

Antes de comenzar con el diseño es conveniente señalar que los sistemas en la robótica móvil son mecanismos capaces de ser realizados de acuerdo a la mecánica clásica, además, un estudio cinemático y dinámico es necesario para analizar el movimiento en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración, fuerzas y torques, generadas y transmitidas, con lo que le permite al diseñador la determinación de las situaciones más críticas y consecuentemente, el diseño de sus componentes. Es por esta razón que el presente diseño del robot hexápodo se ha basado en uno ya realizado, tomando en cuenta todos los aspectos anteriormente señalados, ya que el campo de la mecánica no es de tal dominio de la Ingeniería Electrónica, la principal característica del diseño en un robot articulado es la estabilidad, razón por la cual las dimensiones de cuerpo y articulaciones han sido tomando en cuenta el método de locomoción a utilizar (por ondulación), con el cual a más de estabilidad se consigue que su desplazamiento no sea lento.

Se creyó que para que el robot hexápodo llegue a poseer una gran versatilidad y utilidad en su campo de aplicación, debe ser de tamaño miniatura, que es uno de los objetivos planteados en el presente proyecto, es así que es un gran reto ya que en el país no se cuenta con los recursos necesarios para ello, por lo cual se ha escogido un motor con un suficiente torque y lo mas pequeño posible, ya que de este parámetro depende el grado de miniaturización del robot. El motor escogido es un mini servo que se observa en la figura 3.9, el cual es el punto de referencia para el dimensionamiento del robot, y cuyas características principales se muestran en la tabla 3.1.

Voltaje de Funcionamiento	4.8 voltios
Velocidad:	0.33 seg *
Torque:	0.8 kgrs-cm
Peso	11 oz-in
Giro	*180 grados
Dimensiones	21.8x11x18.7 mm

Tabla. 3.1. Principales características del Miniservo Utilizado

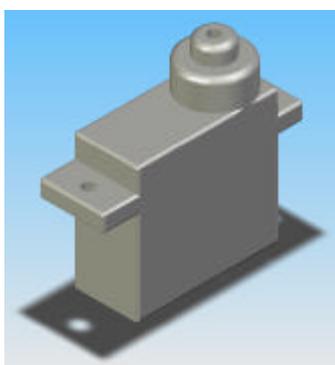


Figura.3.9. Mini servo

El respectivo plano del servo con su dimensionamiento lo encontramos en el anexo A.

3.2.1 DISEÑO DEL HOMBRO (Soporte de los Servos)

El diseño del soporte de los servos se lo hizo tomando en cuenta el posicionamiento de los dos servos que van en el soporte. La estructura debe ser firme, y de acuerdo al tamaño y forma del servomotor, de esta manera facilitando su funcionamiento, tanto para el movimiento vertical como horizontal.

La estructura del soporte u hombro tanto derecho como izquierdo se observa en las figuras 3.10 y 3.11 respectivamente.

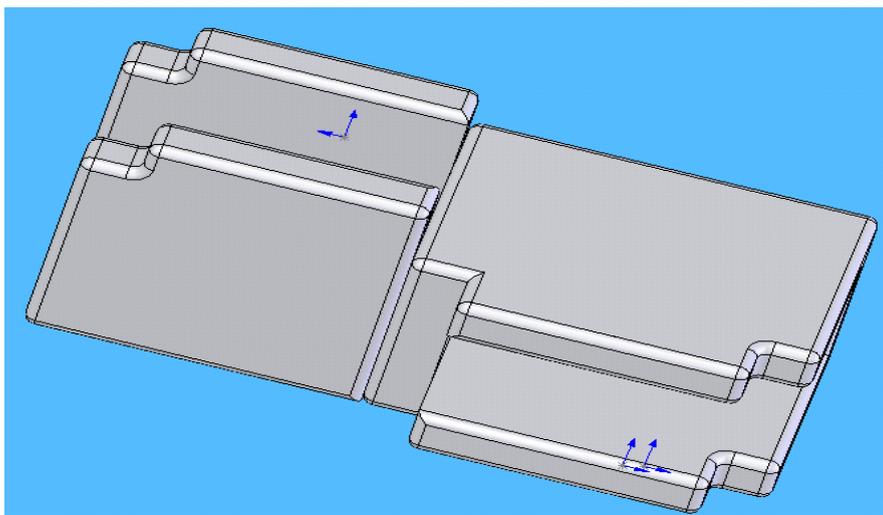


Figura.3.10. Estructura del Hombro Derecho de la Articulación

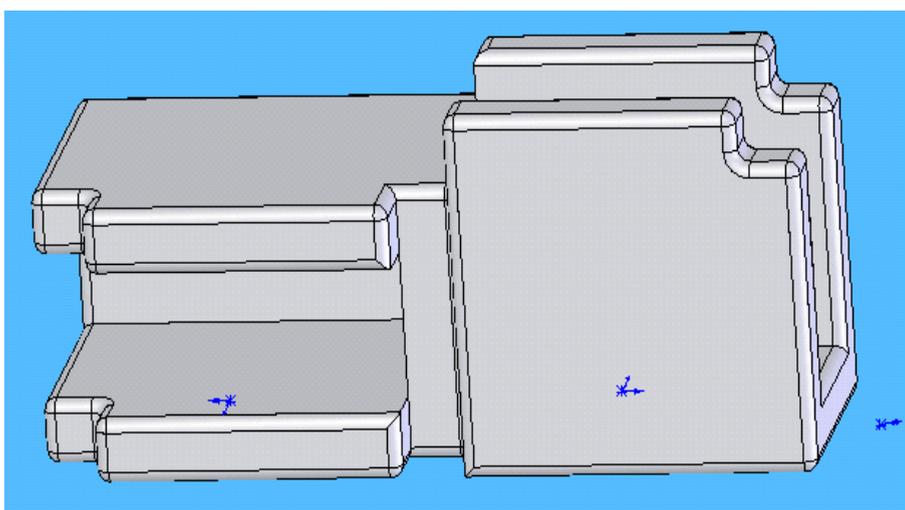


Figura.3.11. Estructura del Hombro Izquierdo de la Articulación

Los planos del diseño del hombro se ilustran en el anexo A1.

3.2.2 DISEÑO DE LA PATA

El diseño esta basado en una pata con una articulación fija, la misma que forma un ángulo de 135° entre sus partes como se observa en la figura 3.12, esta disposición se la hizo tomando en cuenta que su función solo es mantenerse

levantada o asentada, lo cual no es ningún inconveniente para este modelo de robot.

Para formar el conjunto pata-hombro, la pata cuenta con un agujero en el cual se encuentra un acople de engranes, que es el que se une con el engranaje del servomotor para formar dicho conjunto, con lo que con esta unión se hace que la pata tenga un movimiento vertical respecto a la superficie de desplazamiento del robot.

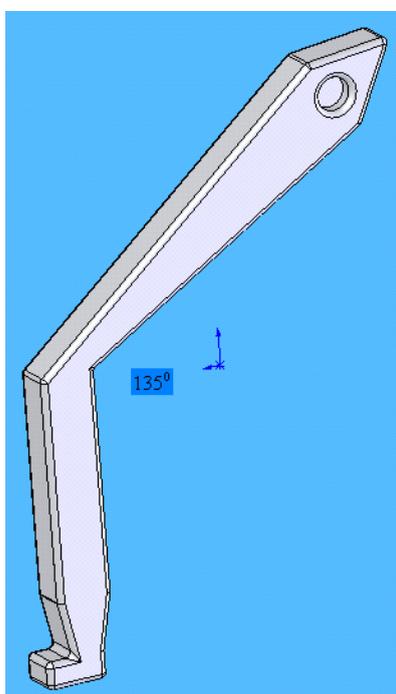


Figura.3.12. Pata izquierda con articulación fija y acople de engranes

En la figura 3.13 se observa que el acople de engrane de la pata derecha se encuentra al otro lado respecto de la pata izquierda.

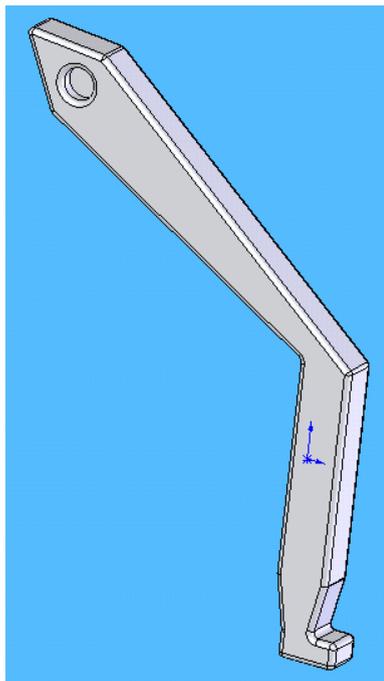


Figura.3.13. Pata derecha con articulación fija y acople de engranes

El plano del diseño de la pata se ilustra en el anexo A2.

3.2.3 DISEÑO DEL CUERPO

Para el diseño del cuerpo del robot se debe tomar en cuenta que es una estructura donde van acoplados los seis conjuntos hombro-pata, por lo cual esta debe poseer una gran robustez, por lo que se ha realizado un diseño sencillo y práctico que facilita el montaje y desmontaje del conjunto hombro-pata.

En la figura 3.14 se ilustra el cuerpo del robot hexápodo.

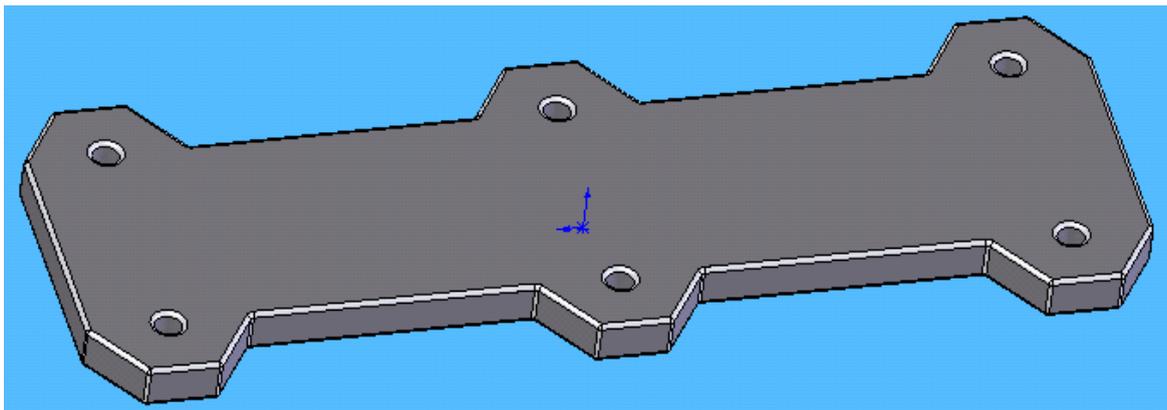


Figura.3.14. Placa principal con agujeros para acople de engranes y montaje de Hardware

Además se puede observar que la plataforma posee seis agujeros en los cuales se ensambla el engranaje correspondiente al servomotor que permite el desplazamiento en el plano horizontal. El plano correspondiente a la plataforma se ilustra en el anexo A3.

3.3 ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT HEXÁPODO

Para el ensamblaje de las diferentes partes del robot se utilizó el programa SolidWorks 2004, ya que como se dijo anteriormente este programa posee un gran desempeño en proyectos que se requiere trabajar en tres dimensiones.

El primer se la construyó con madera de balsa, debido a la maniobrabilidad que este material presenta al momento de realizar cortes, con lo que con este material primeramente se realizó un bosquejo de cada pieza que conforma el robot, ensayando medidas y acoples, para luego de varias pruebas obtener el prototipo que sirvió de base para el prototipo final, el cual esta construido en su mayor parte de fibra de vidrio.

3.3.1 ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCIÓN DEL HOMBRO

El conjunto servos-soporte forma el hombro tanto izquierdo como derecho. Para el ensamblaje, el servo 1 se une con la base A1 y el servo 2 con la base A2 como podemos observar en la figura 3.16; para su sujeción se había previsto dos tornillos para cada servo, pero ya en la construcción por lo complicado de maniobrar la fibra de vidrio en una pieza tan pequeña no se pudo hacer los agujeros correspondientes para los tornillos por lo cual se decidió obviar esta alternativa de sujeción de los servomotores y se opto por empotrarlos con silicona negra la cual nos provee de una sujeción aun mayor que los pernos.

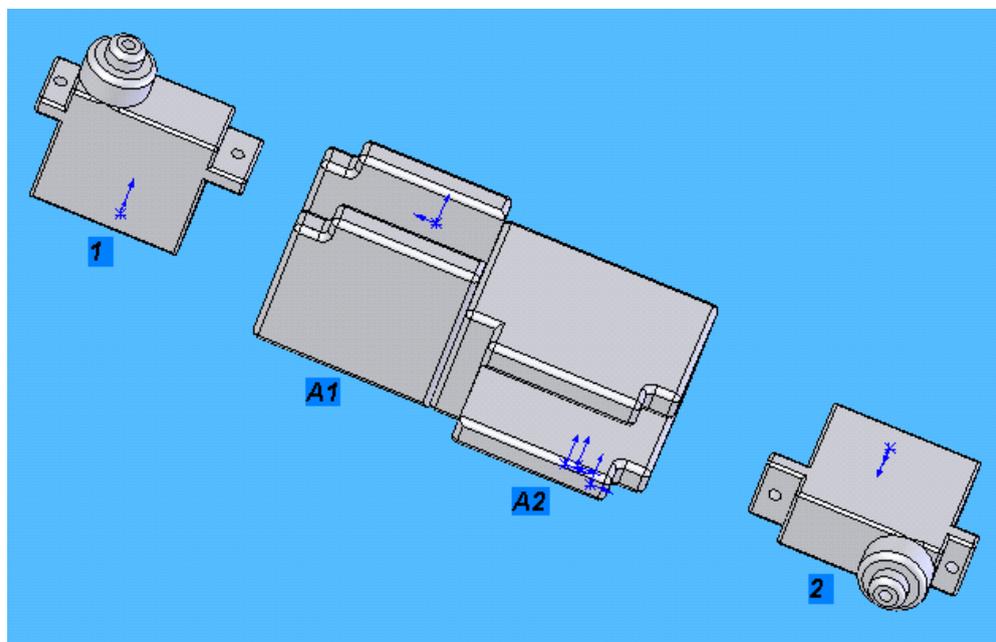


Figura.3.15. Ensamblaje Servo-Soporte que forma el hombro

En las figuras 3.17 y 3.18 se ilustra el ensamblaje completo tanto del hombro izquierdo como el derecho respectivamente

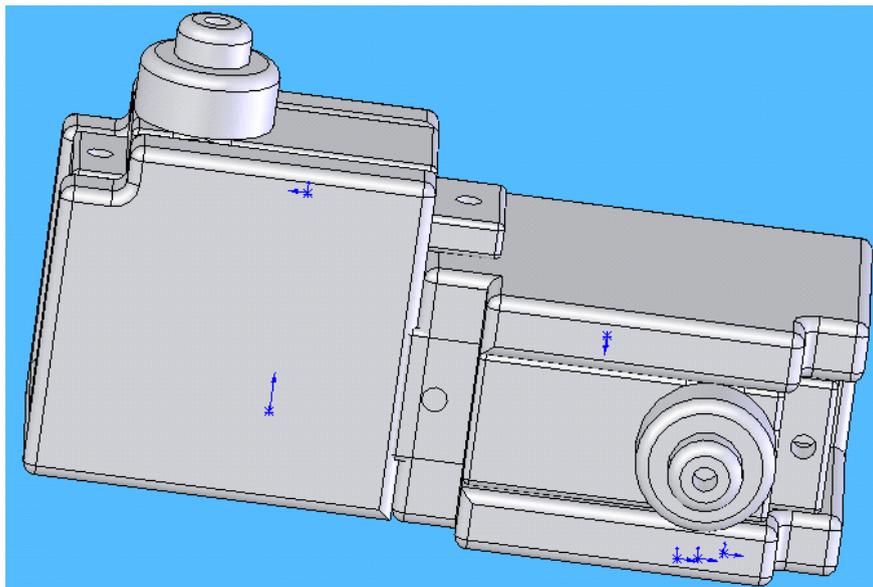


Figura.3.16. Conjunto Servo-Soporte formando hombro izquierdo

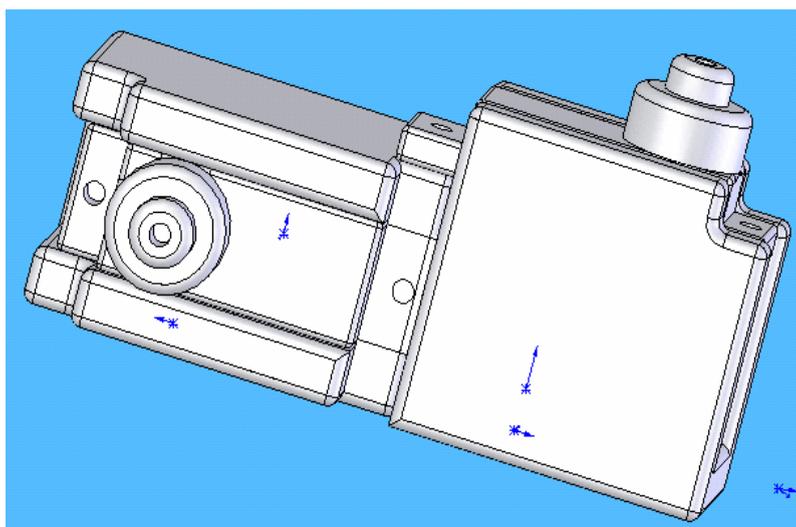


Figura.3.17. Conjunto Servo-Soporte formando hombro derecho

3.3.2 ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCIÓN HOMBRO-PATA

Como se puede observar en la figura 3.19, el ensamblaje de la pata con el hombro es muy fácil, ya que simplemente encajamos el orificio que se encuentra en la pata con el engranaje del servo que va ha ser que la pata se desplace en el plano vertical.

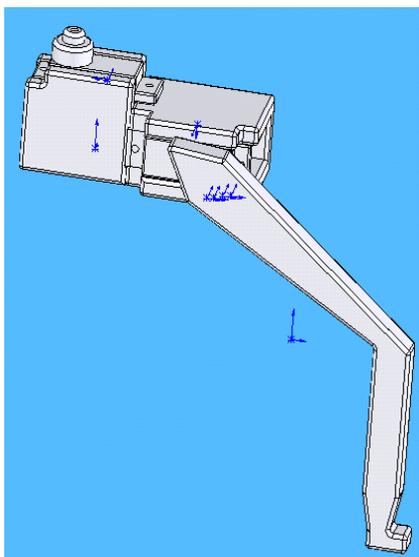


Figura.3.18. Conjunto Pata-Hombro formando la articulación izquierda

La pata tendrá la capacidad de elevarse hasta una altura de 3.5cm sobre el suelo. El ángulo de movimiento del servomotor para que alcance la altura deseada es manipulada por software. En la figura 3.20 podemos observar el ensamblaje de la pata-hombro derecha.

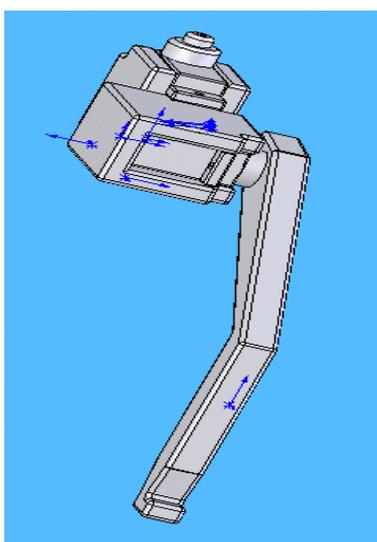


Figura.3.19. Conjunto Pata-Hombro formando la articulación derecha

3.3.3 ENSAMBLAJE Y CONSTRUCCIÓN DEL ROBOT

Como se observar en la figura 3.21, los seis conjuntos pata-hombro, tres izquierdos y tres derechos son ensamblados con el cuerpo, cada engranaje del servomotor que permite el movimiento horizontal es encajado en cada agujero diseñado para el propósito. Para sujetar el conjunto pata-hombro con el cuerpo se utilizó tornillos, por lo que se necesita que este bien sujeto y sea fácil de desmontar.

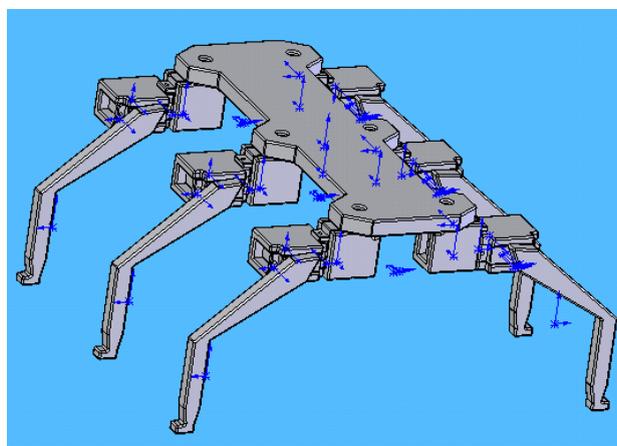


Figura.3.20. Vista Frontal Conjunto Pata-Hombro-Cuerpo

En la figura 3.22 podemos ver el ensamblaje desde la parte trasera del robot.

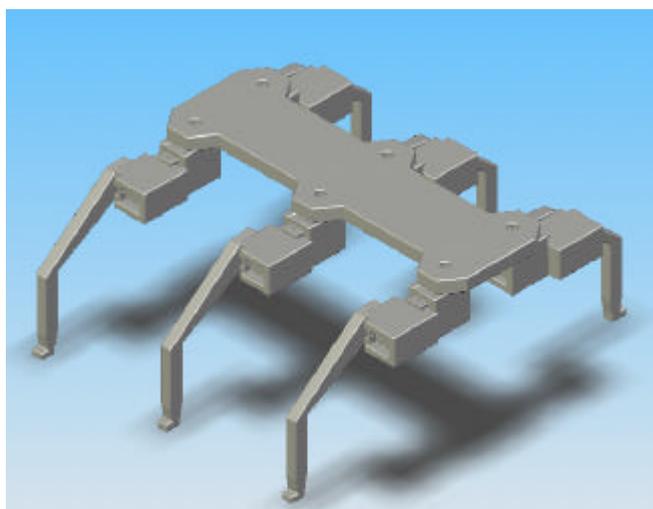


Figura.3.21. Vista Posterior Conjunto Pata-Hombro-Cuerpo

CAPÍTULO IV

HARDWARE DEL ROBOT HEXÁPODO Y DE LA ESTACIÓN BASE

4.1 INTRODUCCIÓN

El propósito de este capítulo es mostrar en detalle todos los dispositivos electrónicos, así como también detallar los diagramas de conexión y la manera de cómo se encuentran distribuidos en el robot hexápodo, también se detallan dispositivos y diagramas que conforma la estación base, la misma que controlará inalámbricamente al robot. La figura 4.1 muestra un organigrama de los componentes de hardware del proyecto.

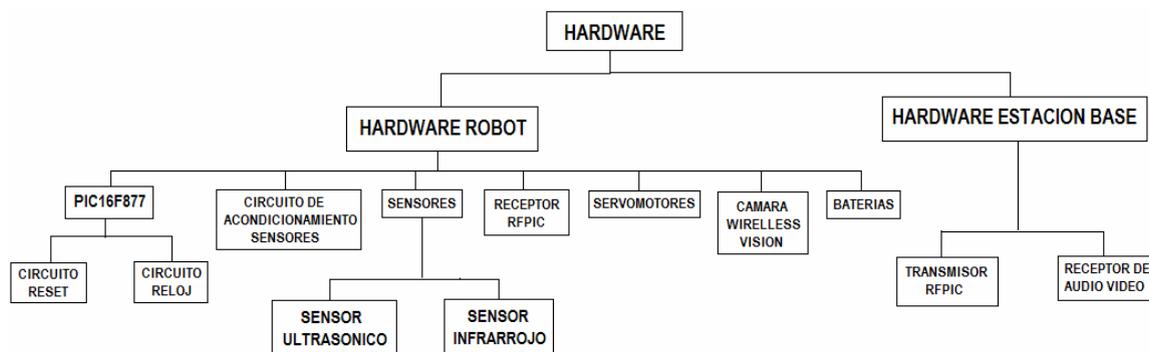


Figura.4.1. Organigrama de Hardware de Robot Hexápodo

4.2 HARDWARE DEL ROBOT

De acuerdo con los análisis realizados de sensores, actuadores y demás elementos requeridos para el funcionamiento del robot, se utiliza como elemento principal el microcontrolador PIC16F877 descrito en el capítulo 2, por que gracias

a sus 40 pines posee las entradas y salidas necesarias, para la conexión de los diferentes dispositivos que hacen que el robot tenga movimiento y sensibilidad dependiendo del ambiente en que se encuentre.

En la figura 4.2 se muestra un esquema en donde se aprecia la conexión de los diferentes dispositivos al microcontrolador PIC, el cual conforma el cerebro del robot.

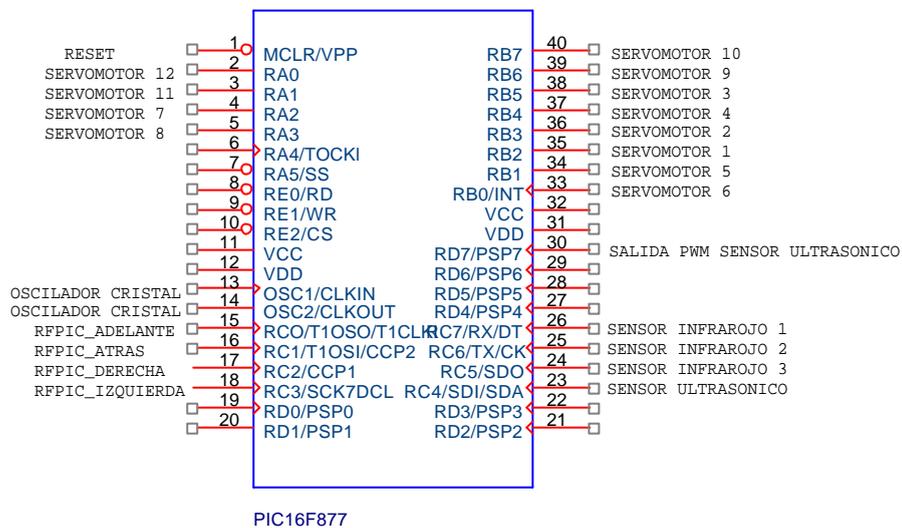


Figura.4.2. Conexionado de pines con los diferentes dispositivos que conforman el Hardware del Robot

4.2.1 DETALLE DE CONEXIÓN DE CADA PIN DEL 16F877

En el pin 1 (MCLR/VPP) se conecta el circuito de restauración del microcontrolador (RESET). La figura 4.3 muestra en detalle esta conexión.

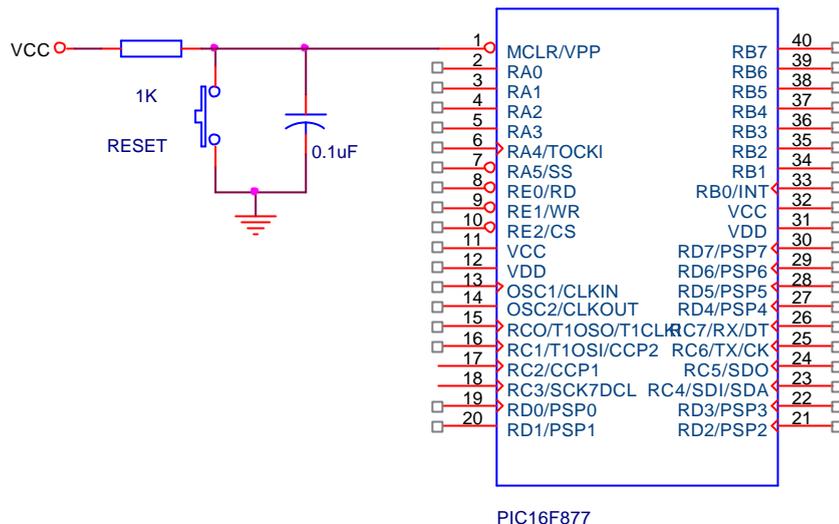


Figura.4.3. Conexión de Reset del Microcontrolador

Los pines 13 y 14 son la entrada y salida de la señal de reloj respectivamente, para la generación de esta señal, se utilizó un oscilador TTL tipo XT de 4Mhz. En la figura.4.4 se puede observar como a cada extremo del oscilador se le conecta el extremo de un capacitor de 22pf, y a su vez el otro extremo del capacitor es conectado a tierra, estos valores de capacitancia son los recomendados en el data sheet.

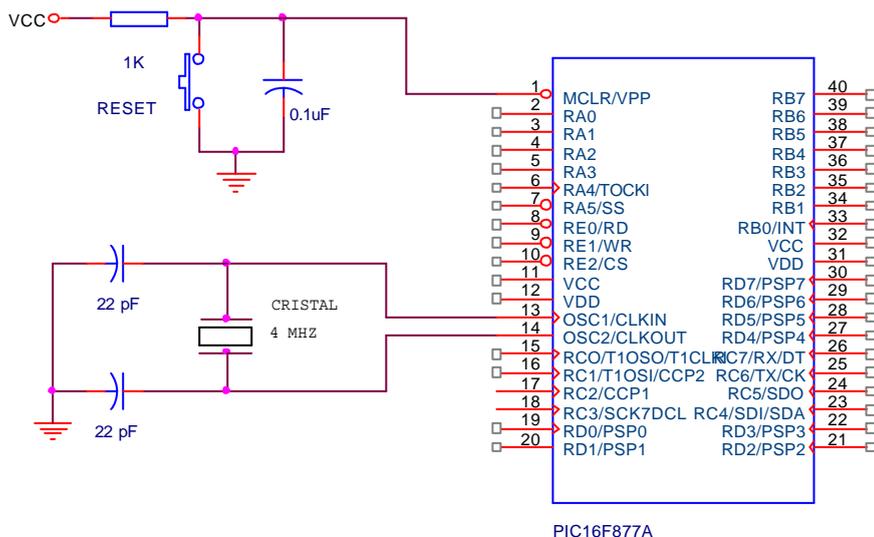


Figura.4.4. Circuito de Reloj al Microcontrolador

Los pines 2, 3, 4 y 5 que corresponden a RA0, RA1, RA2 y RA3 respectivamente del puerto A y los pines 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 y 40 que corresponden a RB0, RB1, RB2, RB3, RB4, RB5, RB6 Y RB7 del puerto B, están configurados como salidas digitales por las cuales salen las señales PWM generadas, para el control de los doce servomotores que se utilizan para la locomoción del hexápodo

La figura.4.5 nos muestra esquemáticamente la conexión de un servomotor, cosa similar se aplica para la conexión de los restantes servomotores.

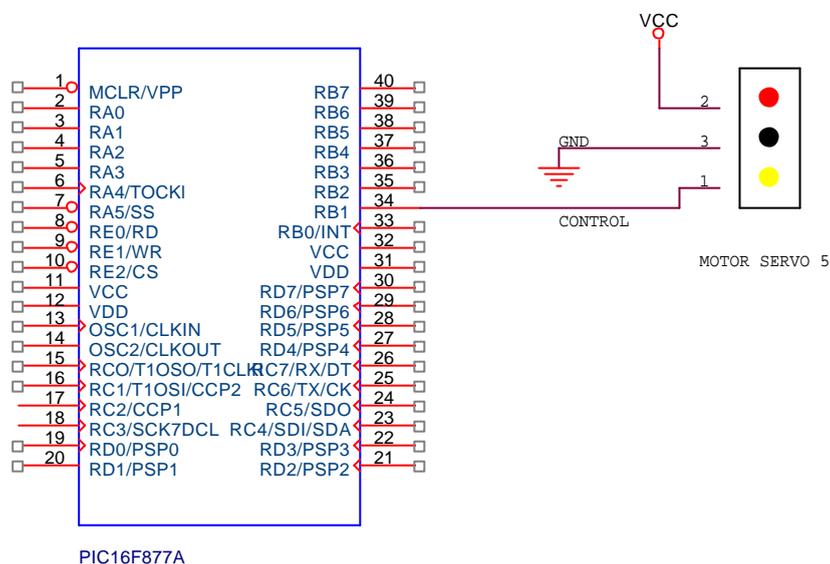


Figura.4.5. Conexión de Servomotor al Microcontrolador

El pin 30 que corresponde a RD7 del puerto D, se configura como salida digital y corresponde a la señal PWM de entrada para el sensor ultrasónico.

Los pines 15, 16, 17 y 18 que corresponde a RC0, RC1, RC2, RC3 del puerto C, se configuran como entradas digitales, por las cuales ingresan las señales de control receptadas por el modulo receptor RFRXD0420.

Los pines 23, 24, 25 y 26 que corresponden a los bits RC4, RC5, RC6 y RC7 del puerto C, se configuran como entradas digitales, en RC4 se encuentra

conectado el sensor ultrasónico y en RC5, RC6 y RC7 están conectados los tres sensores infrarrojos que se utilizan.

4.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE LOS SENSORES INFRARROJOS

Como se describió en el capítulo dos, el sensor utilizado es el Sharp IS471F, su circuito de acondicionamiento esta dado a continuación:

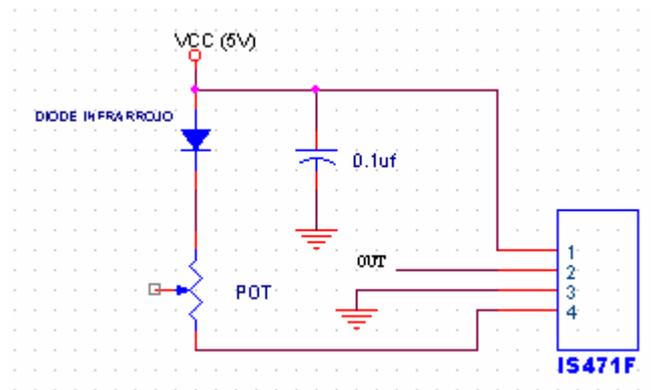


Figura.4.6. Circuito de Acondicionamiento Sensor Sharp IS471F

Luego de realizar varias pruebas con diferentes bancos de resistencias se determinó que la resistencia a ser usada para el acondicionamiento del sensor es de 560 ohms.

4.2.3 DETALLE DE CONEXIÓN DEL RF-PIC RECEPTOR

Antes de mostrar el esquema de conexión del receptor, cabe señalar que el módulo utilizado es rRXD0420 receiver que trabaja a 433.92 MHz, el cual se encuentra montado en el cuerpo del robot, y el esquemático de conexiones del módulo se encuentra en el anexo C1. La información que se transmite desde la estación base es receptada por el módulo antes mencionado, el mismo que codifica esta señal y saca la información por el Pin RC1, esta información es recibida por el PIC16F628 en el Pin 1 que corresponde al bit RA2 del puerto A de este PIC. Recibida la información se decodifica la misma por un programa que se encuentra en el interior del PIC, que a la vez habilita o deshabilita los bits RB0,

RB1, RB2, RB3 del puerto B, por los cuales se activa la señal de control que hace que el robot ejecute sus rutinas de movimiento. En la figura 4.7 se muestra el detalle de las conexiones antes mencionadas.

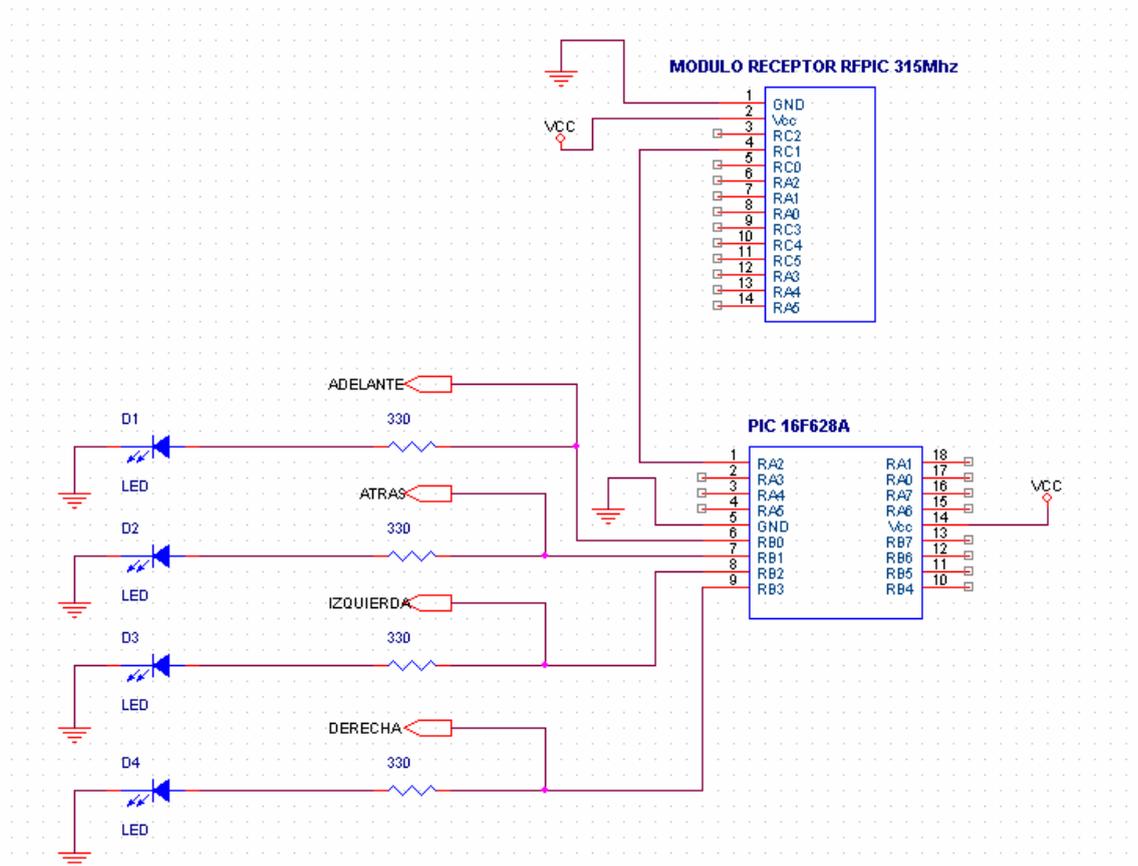


Figura.4.7. Circuito de recepción y decodificación de señal

Todo el esquemático del hardware utilizado en el robot lo encontramos en el anexo B1.

4.3 HARDWARE ESTACION BASE

La estación base conforma lo que se llamará de aquí en adelante como control remoto del robot, este control remoto consta principalmente del modulo transmisor rPIC12F675F que trabaja a la misma frecuencia que el módulo receptor antes mencionado, el esquemático del módulo se encuentra en el anexo C2. Por motivo de no existir entradas libres en este módulo, lo que se hace es utilizar el

potenciómetro GP1 y el pulsador GP4 del módulo, los cuales están conectados externamente con otro potenciómetro y un pulsador localizados en el control remoto del robot, los mismos que son encargados de dar una señal que ordena al robot la secuencia de movimiento que debe realizar.

Adicionalmente se encuentra en el control remoto un modulo LCD que muestra el estado del robot, para lo cual se utiliza un PIC16F628A que es el encargado de recibir las señales del potenciómetro y pulsador mencionados anteriormente, y de acuerdo al valor de resistencia del potenciómetro y a la señal que entrega el pulsador se realiza la presentación del estado en que se encuentra el robot. En la figura 4.8 se observa el detalle de la conexión del control remoto que maneja inalámbricamente el robot hexápodo.

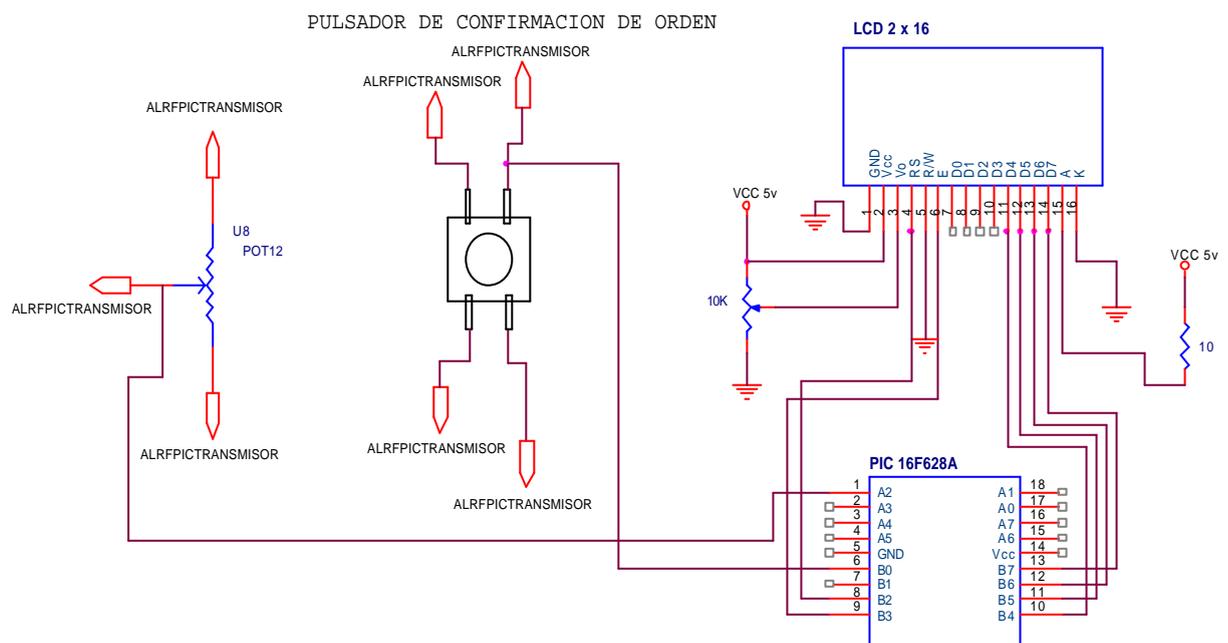


Figura.4.8. Circuito de Control Remoto con Modulo LCD

Hay que agregar que en la estación de control también se tiene el kit receptor del video, y la conexión de este fue detallada en el capítulo 2.

El esquemático de todo el hardware de la estación de control se observa en el anexo B2.

CAPÍTULO V

SOFTWARE DEL ROBOT

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el software de control tanto para los diferentes movimientos y acciones del robot, como el programa del RFpic que permite realizar el control teleoperado del mismo.

Para el desarrollo del software se utiliza los programas MicroCode, HTPIC, y MPLAB, los cuales nos permiten desarrollar proyectos con microcontroladores.

El cerebro principal del robot es el PIC de la familia 16F87X, este PIC es el encargado de procesar cada señal externa tanto del RFpic como de los sensores, para tomar la decisión de movimiento del robot. Además se utiliza el PIC 16F628A que cumple la función de decodificador de la señal proveniente del receptor RFpic rfRXDO420 (433 Mhz). Por ultimo, en la estación base se utiliza la tarjeta del RFpic transmisor 12F675F que controla los cuatro movimientos que posee el robot.

En la figura 5.1 se observa la arquitectura del programa.

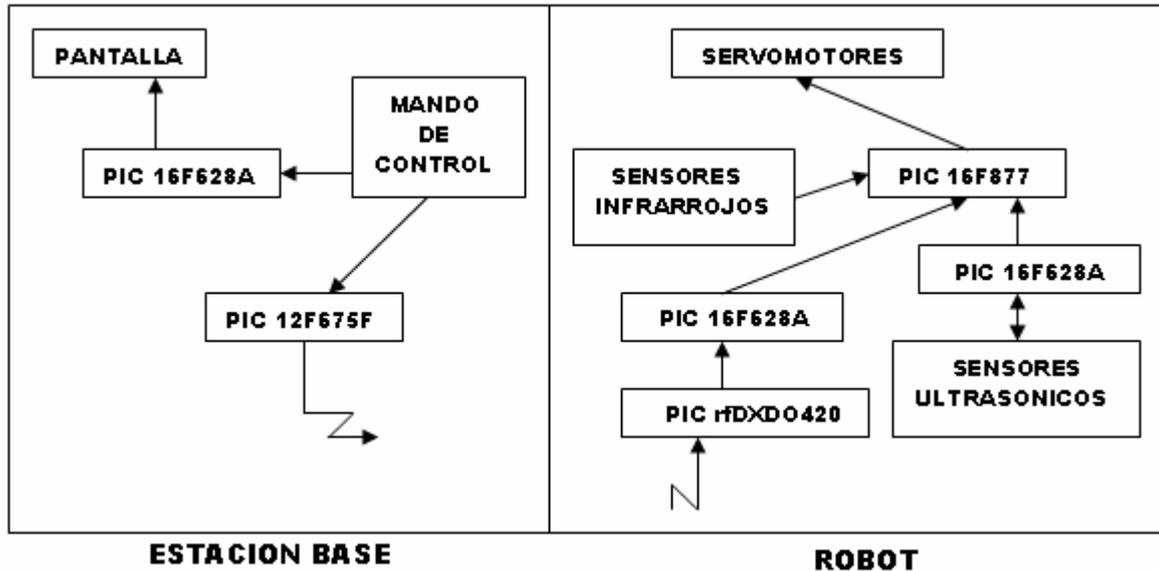


Figura. 5.1. Arquitectura del programa en Estación Base y Robot.

El software se desarrolla en forma modular, con tres módulos que se programan en tres diferentes microcontroladores. El primer módulo corresponde al software de transmisión de datos del control teleoperado, el segundo módulo es el software correspondiente a la decodificación de los datos transmitidos y el tercer módulo es el software que ejecuta las diferentes actividades del robot. Cabe recalcar que los tres módulos se encuentran conectados en hardware y no tienen relación.

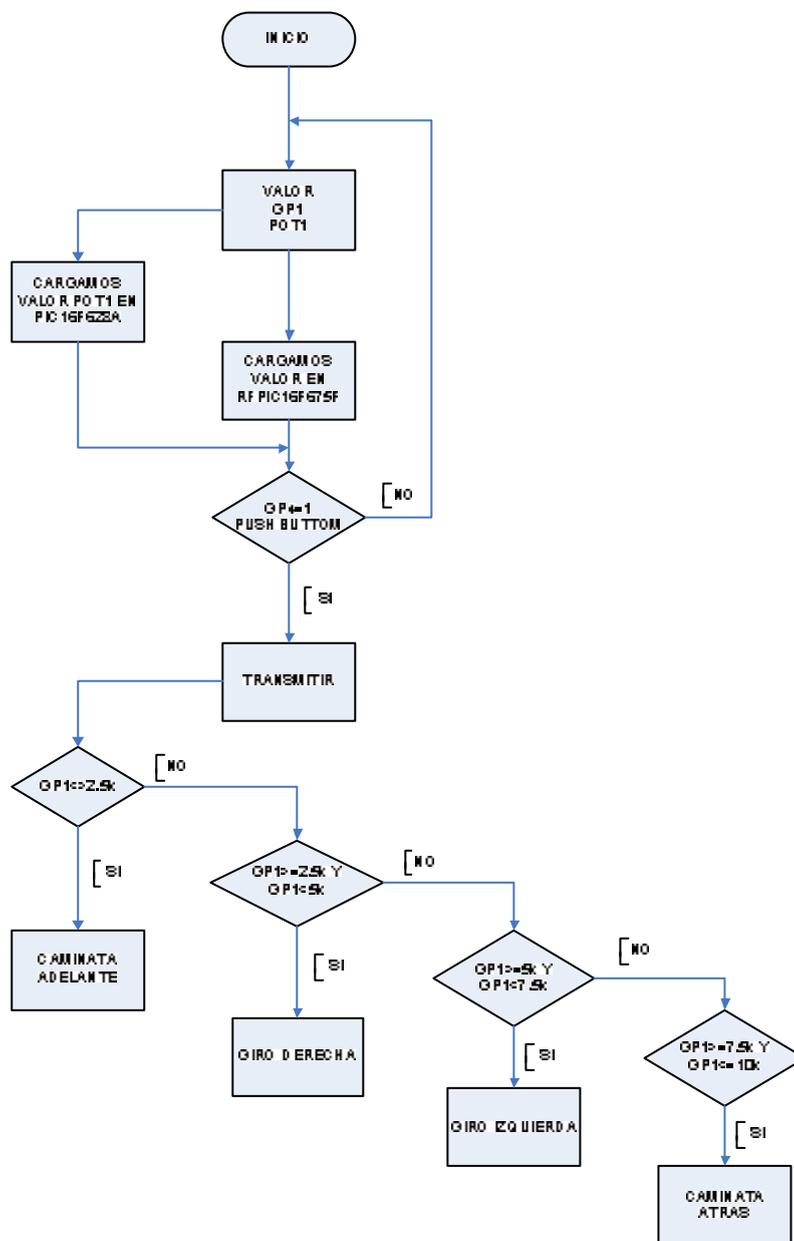
5.1 PROGRAMA DE TRANSMISIÓN

Para la transmisión de los datos que permite el control del robot, se utiliza un pulsador (GP4) y un potenciómetro (GP1) que están conectados al PIC 16F675F y al PIC 16F628A, como ya se describió en el capítulo anterior.

El potenciómetro que se utiliza es de 10Kohm, se lo divide en cuatro rangos de trabajo, el cual define la dirección de movimiento del robot, ya sea adelante, atrás, giro izquierda y giro derecha.

Al energizar el circuito, cargamos el valor del potenciómetro tanto en el PIC de transmisión como en el PIC 16F628A, este ultimo realiza la interfase entre el mando de control y la pantalla. Luego al presionar el pulsador el valor cargado del potenciómetro es transmitido y de acuerdo con el rango de trabajo, se presenta en pantalla el estado en que se encuentra el robot.

A continuación se ilustra el diagrama de flujo correspondiente al programa de transmisión.



5.2 PROGRAMA DE RECEPCIÓN

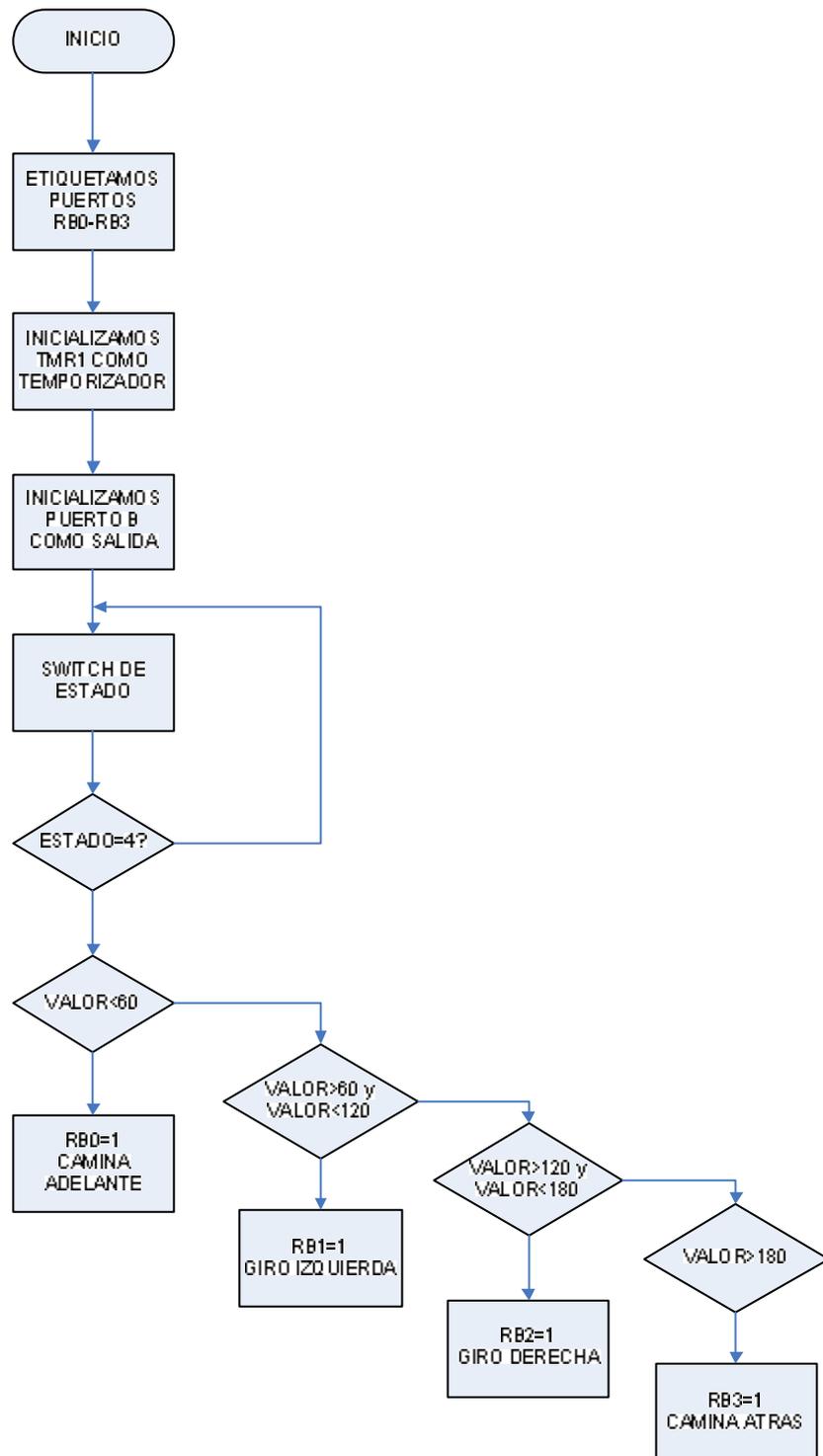
La recepción de los datos se realiza mediante la utilización del PIC rfRXDO420, para lo cual es necesario decodificar la información que recibe el receptor mediante la utilización de un PIC auxiliar, en este caso se utiliza el PIC 16F628A que se encargará de decodificar esa información.

El programa de decodificación de los datos recibidos se empieza definiendo 5 estados de funcionamiento.

1. El preámbulo, que es el encabezado, donde se espera que transcurran al menos 10 pulsos con una duración en nivel bajo de entre 300 y 420us.
2. El Inicio, que es un pulso en nivel bajo que dura entre 4300 a 4500us.
3. La recepción de los datos, en donde se reciben nueve datos de ocho bits. Estos bits se reciben desde el LSB al MSB. Se valida como uno lógico cuando el tiempo en nivel bajo es entre 300 y 650us y como cero lógico cuando el tiempo en bajo es entre 650 y 900us.
4. En este estado se realizan las comparaciones necesarias para saber que movimiento del robot fue transmitido desde la estación de control y así activar el puerto auxiliar correspondiente.
5. El estado de error se produce cuando los anchos de pulsos no coinciden con lo especificado.

El procedimiento que se utiliza para medir el ancho de pulso es a través del timer1 configurado como temporizador sin pre-escaler.

A continuación se ilustra el diagrama de flujo correspondiente al programa de recepción.



5.3 PROGRAMA DE CONTROL DE MOVIMIENTOS DEL ROBOT

En este programa se realiza una descripción de cada rutina en el microcontrolador para los movimientos del robot hexápodo: caminata adelante, caminata atrás, giro derecha, giro izquierda, y decisiones frente a diferentes obstáculos.

Para entender los movimientos del robot hexápodo en todas sus funciones, es necesario numerar las patas así como también los servomotores que lo componen. En las figuras 5.2 , 5.3 se presentan estas numeraciones.

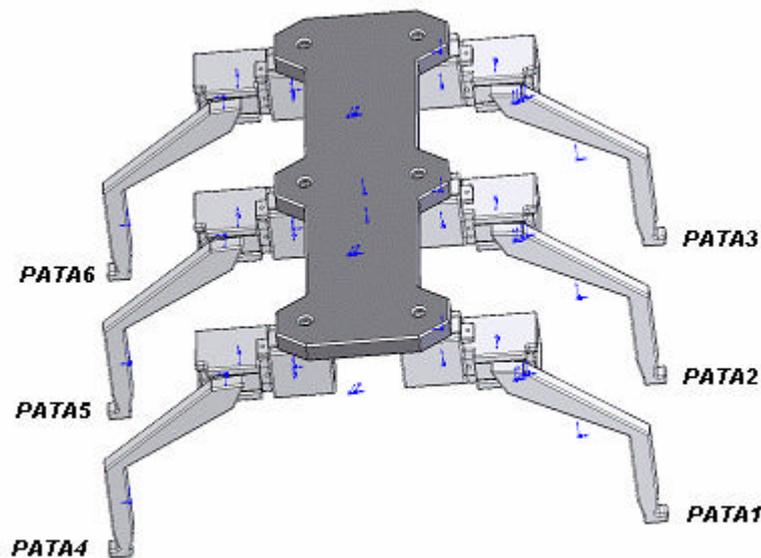


Figura. 5.2. Numeración de patas del robot hexapodo.

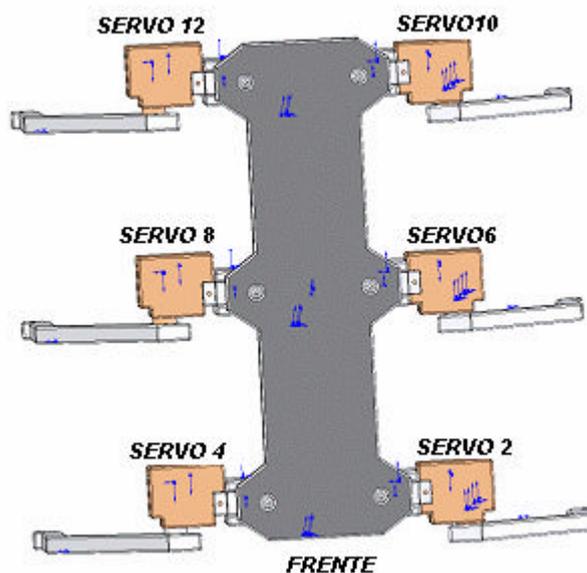


Figura. 5.3. Numeración de servomotores conectados a las patas del robot

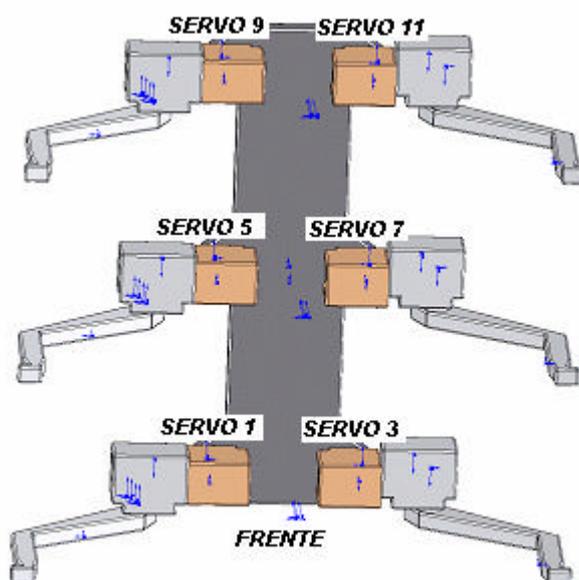


Figura. 5.4. Numeración de servos conectados al cuerpo

Mediante esta identificación de patas y servos, se podrá entender claramente la descripción de las diferentes rutinas de movimiento que posee el robot.

Se inicializa el programa etiquetando cada pin con el número de servo que controla, así como también los sensores y señales del RFPic. Esto se aprecia en la tabla.5.1.

# PIN	PIN	DESIGNACION	NOMBRE	FUNCION
33	PB.0	SALIDA	SERVO 6	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO VERTICAL
34	PB.1	SALIDA	SERVO 5	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO HORIZONTAL
35	PB.2	SALIDA	SERVO 1	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO HORIZONTAL
36	PB.3	SALIDA	SERVO2	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO VERTICAL
37	PB.4	SALIDA	SERVO 4	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO VERTICAL
38	PB.5	SALIDA	SERVO 3	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO HORIZONTAL
39	PB.6	SALIDA	SERVO 9	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO HORIZONTAL
40	PB.7	SALIDA	SERVO 10	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO VERTICAL
2	PA.0	SALIDA	SERVO 12	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO VERTICAL
3	PA.1	SALIDA	SERVO 11	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO HORIZONTAL
4	PA.2	SALIDA	SERVO 7	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO HORIZONTAL
5	PA.3	SALIDA	SERVO 8	PWM PARA EL POSICIONAMIENTO VERTICAL
15	RC0	ENTRADA	ADELANTE	CONEXIÓN AL RECEPTOR RFPIC
16	RC1	ENTRADA	DERECHA	CONEXIÓN AL RECEPTOR RFPIC
17	RC2	ENTRADA	IZQUIERDA	CONEXIÓN AL RECEPTOR RFPIC
18	RC3	ENTRADA	ATRÁS	CONEXIÓN AL RECEPTOR RFPIC
23	RC4	ENTRADA	ULTRA	CONEXIÓN AL SENSOR ULTRASONICO
24	RC5	ENTRADA	INFRA 1	CONEXIÓN AL SENSOR INFRARROJO DERECHO
25	RC6	ENTRADA	INFRA 2	CONEXIÓN AL SENSOR INFRARROJO CENTRAL
26	RC7	ENTRADA	INFRA 3	CONEXIÓN AL SENSOR INFRARROJO IZQUIERDO

Tabla. 5.1. Detalle de conexión de pines del Microcontrolador

5.3.1 PROGRAMA PRINCIPAL

Cuando el circuito se energiza el hexápodo coloca sus patas en la posición inicial, es decir, a los servomotores se envía los PWM correctos para dicha posición, cabe recalcar que la señal PWM debe ser constante en los 12 servomotores para que ninguno de ellos pierda su posición. Además, en este momento también comienzan a funcionar ininterrumpidamente los tres sensores

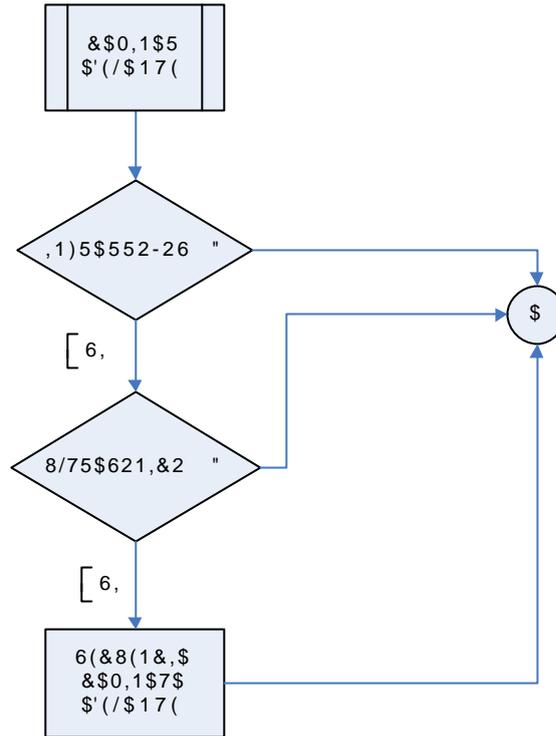
infrarrojos y el sensor ultrasónico, los cuales envían señales de realimentación al controlador.

En este punto el robot espera por señal proveniente del control remoto, que puede ser: caminata hacia delante, caminata hacia atrás, giro derecha, giro izquierda.

El programa se mantiene dentro de un lazo, para que el robot pueda realizar sus funciones al momento que exista mando de control.

5.3.2 CAMINATA HACIA DELANTE

Como ya se dijo el robot espera en su posición inicial al momento en que se envía la orden de avanzar hacia delante, entonces el robot consulta con sus sensores si no existe ninguna clase de obstáculos que le impida avanzar, al no haber impedimento empieza a caminar, y al momento que haya dado un paso comprueba si existe todavía la orden de avanzar, entonces vuelve a consultar con los sensores y ejecuta el avance una vez mas; en el caso de que exista impedimento para avanzar el robot regresa a su posición inicial y no hace caso del mando avanzar hasta que comprueba que no existe impedimento de avance. Este proceso se lo realiza dentro de un lazo en el diagrama de flujo que se ilustra a continuación.



El manejo de control de los doce servomotores para la caminata hacia delante se lo realiza mediante el método llamado Paso de la Ondulación, método ya descrito en el capítulo III.

La posición inicial se muestra en la figura.5.5.

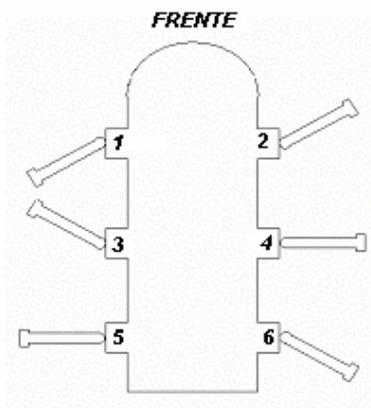


Figura. 5.5. Posición Inicial para comenzar caminata

El método consta de nueve pasos dados a continuación, la numeración de las patas es de acuerdo a la figura.5.5.

1. Se alza las patas 1 y 6 que están hacia atrás; las patas 2 y 3 que están hacia delante se mantienen en el suelo al igual que las patas 4 y 5 que están en la posición central.
2. Se mueven las patas 1 y 6 hacia delante (alzadas), las patas 2 y 3 se mueven hacia la posición media mientras que las patas 4 y 5 se ubican hacia atrás.
3. Descienden las patas 1 y 6 y las demás mantienen su posición.
4. Se alza las patas 4 y 5, mientras las demás conservan su posición.
5. Se mueven las patas 4 y 5 hacia el frente, las patas 1 y 6 se mueven hacia la posición central y las patas 2 y 3 se mueven hacia atrás.
6. Descienden las patas 4 y 5, mientras las demás conservan su posición.
7. Se eleva las patas 2 y 3 y las demás mantienen su última posición.
8. Las patas 2 y 3 se dirigen hacia delante mientras las patas 1 y 6 van hacia atrás y las patas 4 y 5 se sitúan en el medio.
9. Descienden las patas 2 y 3 manteniendo a las otras en su posición.

El último paso hace que vuelva el robot a la posición inicial, para de ahí realizar nuevamente los nueve pasos en un lazo repetitivo.

5.3.3 CAMINATA HACIA ATRÁS

El robot realiza una inversión de frente, es decir el nuevo frente es la parte trasera de la caminata hacia delante, colocándose el robot en posición inicial para comenzar la caminata hacia atrás, al momento que haya dado un paso comprueba nuevamente si existe la señal de mando hacia atrás y ejecuta el avance hacia atrás nuevamente. En esta rutina no existe una realimentación de los sensores para detectar cualquier obstáculo en el camino, por que el robot explorador siempre va a ir para adelante y la opción caminata hacia atrás es solo

una ayuda para evadir obstáculos, es decir que queda en el criterio del operador el uso de esta función, el diagrama de flujo correspondiente se ilustra a continuación.



Como existe este cambio de frente del robot para esta caminata, el inicio 2 se lo ilustra en la figura.5.6.

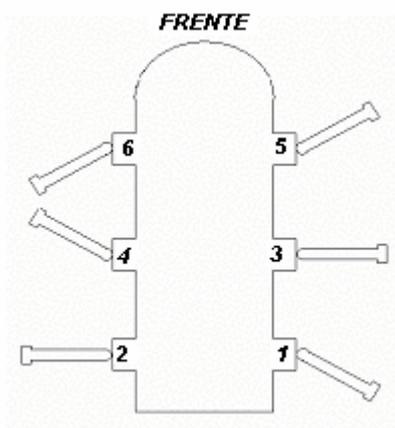


Figura.5.6. Posición inicial para caminata hacia atras

Los pasos correspondientes a la caminata hacia atrás quedan de la siguiente manera:

1. Se alza las patas 6 y 1 que están hacia atrás; las patas 5 y 4 que están hacia delante se mantienen en el suelo al igual que las patas 3 y 2 que están en la posición central.
2. Se mueven las patas 6 y 1 hacia delante (alzadas), las patas 5 y 4 se mueven hacia la posición media mientras que las patas 3 y 2 se ubican hacia atrás.
3. Descienden las patas 6 y 1 y las demás mantienen su posición.
4. Se alza las patas 3 y 2, mientras las demás conservan su posición.
5. Se mueven las patas 3 y 2 hacia el frente, las patas 6 y 1 se mueven hacia la posición central y las patas 5 y 4 se mueven hacia atrás.
6. Descienden las patas 3 y 2, mientras las demás conservan su posición.
7. Se eleva las patas 5 y 4 y las demás mantienen su última posición.
8. Las patas 5 y 4 se dirigen hacia delante mientras las patas 6 y 1 van hacia atrás y las patas 3 y 2 se sitúan en el medio.
9. Descienden las patas 5 y 4 manteniendo a las otras en su posición.

El ultimo paso hace que vuelva el robot a la posición inicial 2, para luego realizar nuevamente los nueve pasos en un lazo repetitivo.

5.3.4 GIRO DERECHA

La rutina de caminata giro derecha es utilizada para esquivar obstáculos, cuando la caminata hacia delante ha sido interrumpida por la presencia de un obstáculo o hueco en el frente del robot. Al momento que el robot recibe la señal de giro derecha éste toma una tercera posición inicial como se ilustra en la figura.5.7. Luego consulta con el sensor infrarrojo derecho y el sensor ultrasónico si puede realizar el giro, si es posible el robot gira 10 grados y otra vez regresa a comprobar si hay señal de giro para luego consultar con los sensores y realizar nuevamente el giro, esto se encuentra dentro de un lazo y está en el criterio del operador el ángulo de giro que necesite realizar.

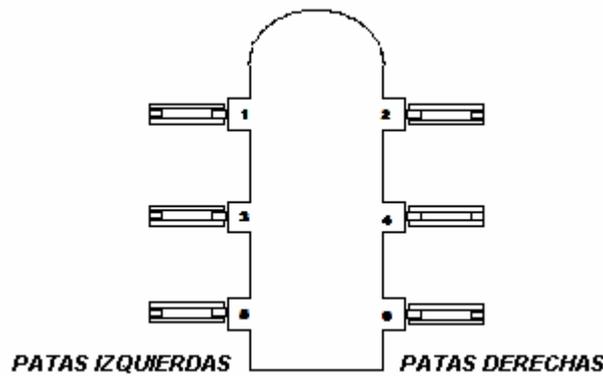
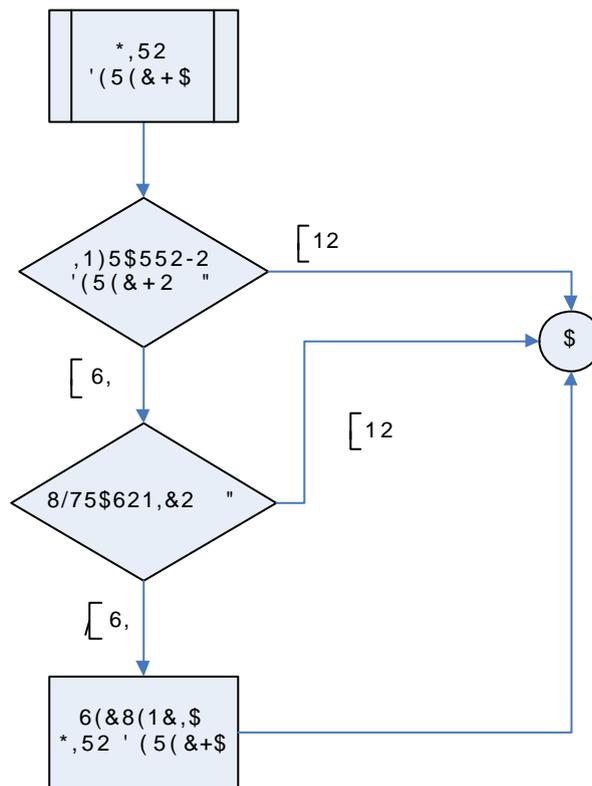


Figura.5.7. Posición inicial para giro a derecha

El diagrama de flujo correspondiente al giro derecha se ilustra a continuación.



La rutina de caminata giro derecha se describe a continuación:

1. La pata 2 se levanta y gira hacia delante y las demás conservan su posición.
2. De la misma manera que la pata 2 se realiza para las patas 4 y 6.

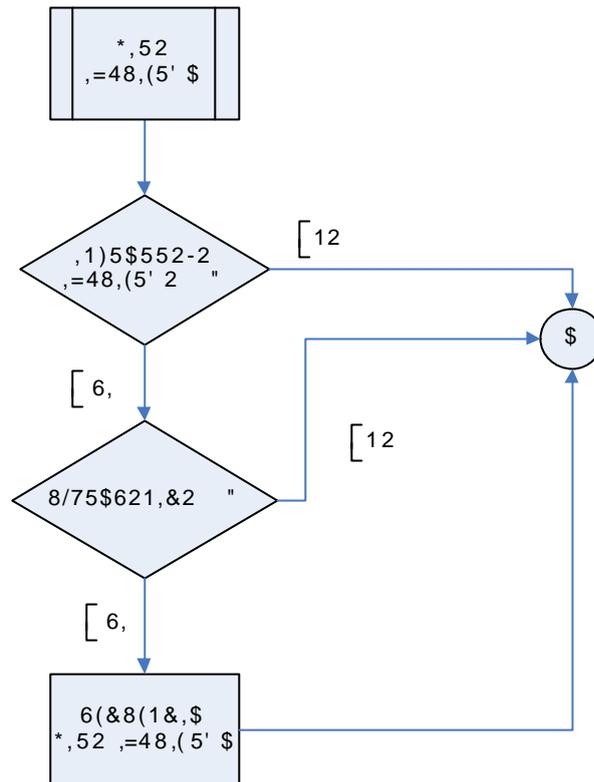
3. Cuando se ha terminado de girar las patas del lado derecho, se procede de igual forma con las patas 1,3 y 5 que corresponden al lado izquierdo pero en este caso el giro es hacia atrás.
4. Una vez que se ha terminado de girar todas las patas del lado izquierdo, todas las patas vuelven a la posición inicial 3.

Este movimiento se realiza en un lazo, y la capacidad de giro del robot es de 10 grados por paso, con lo cual tiene la capacidad de girar una vuelta entera si las condiciones le permiten.

5.3.5 GIRO IZQUIERDA

De igual manera que la caminata giro derecha se realiza la rutina de caminata giro izquierda, la cual también es utilizada para esquivar obstáculos cuando la caminata hacia delante ha sido interrumpida por la presencia de un obstáculo o hueco en el frente del robot. Al momento que el robot recibe la señal de giro izquierda este toma una tercera posición inicial como se ilustra en la figura.5.8. Luego consulta con el sensor infrarrojo izquierdo y el sensor ultrasónico si puede realizar el giro, si es posible el robot gira 10 grados y otra vez regresa a comprobar si hay señal de giro para luego consultar con los sensores y realizar nuevamente el giro, esto se encuentra dentro de un lazo y esta en el criterio del operador el ángulo de giro que desea realizar.

El diagrama de flujo correspondiente al giro derecha se ilustra a continuación.

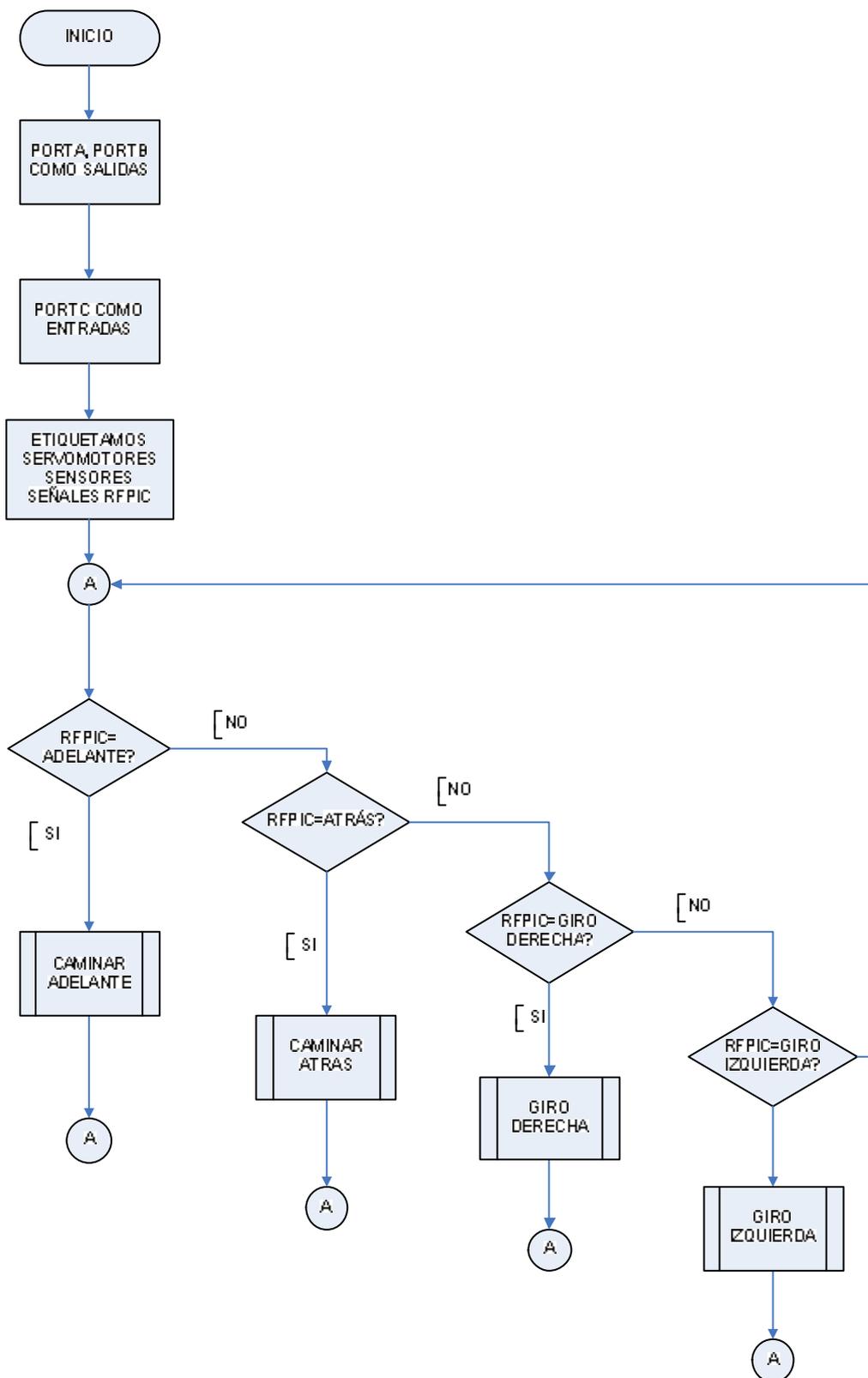


La rutina de caminata giro izquierda se describe a continuación:

1. La pata 2 se levanta y gira hacia atrás y las demás conservan su posición.
2. De la misma manera que la pata 2 se realiza para las patas 4 y 6.
3. Cuando se ha terminado de girar las patas del lado derecho, se procede de igual forma con las patas 1,3 y 5 que corresponden al lado izquierdo pero en este caso el giro es hacia delante.
4. Una vez que se ha terminado de girar todas las patas del lado izquierdo, todas las patas vuelven a la posición inicial 3.

Igual que en el caso anterior este movimiento se realiza en un lazo de control.

5.3.6 DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA PRINCIPAL



CAPITULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se detallan todas las pruebas y los resultados obtenidos del robot, para determinar si cumple con los objetivos planteados al inicio del proyecto, lo que permitirá determinar cuales son sus limitaciones en los diferentes ambientes de trabajo, validando el comportamiento del mismo.

En los siguientes temas se analizan las pruebas realizadas:

6.2 CAMINATA SOBRE SUPERFICIES LISAS

La dinámica del robot en la caminata sobre superficies lisas es aceptable, tomando en cuenta la estabilidad y fluidez en el movimiento, teniendo en cuenta que las superficies lisas presentan poca resistencia al rozamiento el hexápodo no se desliza, porque en el diseño de las patas tiene colocado una base de caucho, lo cual aumenta la capacidad de adherirse a superficies lisas, brindándole al robot más estabilidad en el avance.

En esta prueba también se puede observar que el robot presenta un balanceo mínimo, por que el centro de masa del robot se encuentra localizado más o menos en el centro de la figura que se forma en el piso con las cuatro patas asentadas para dar cada paso. En cuanto a la velocidad de desplazamiento es lenta, evitándose los efectos inerciales que producirían la caída del robot para

adelante o hacia atrás de acuerdo a la rutina que esté realizando. Otro aspecto importante es el ángulo de giro de las extremidades (horizontal o vertical) no debe ser muy grande, por lo que en este caso se colocó un ángulo menor a 20 grados, para evitar movimientos torpes del robot y lo que asegura un buen equilibrio.

Las figuras 6.1, 6.2 y 6.3 muestran al robot realizando su caminata en una superficie lisa, vistas desde tres posiciones superior, frontal y lateral.

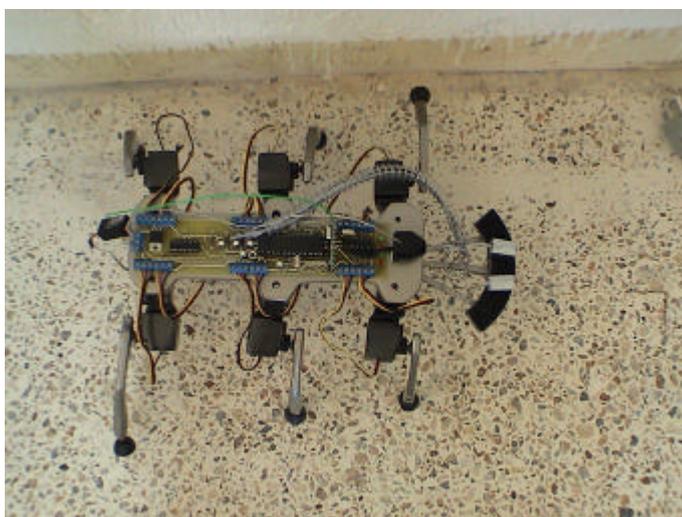


Figura.6.1. Vista superior de caminata sobre superficie lisa



Figura.6.2. Vista frontal de caminata sobre superficie lisa

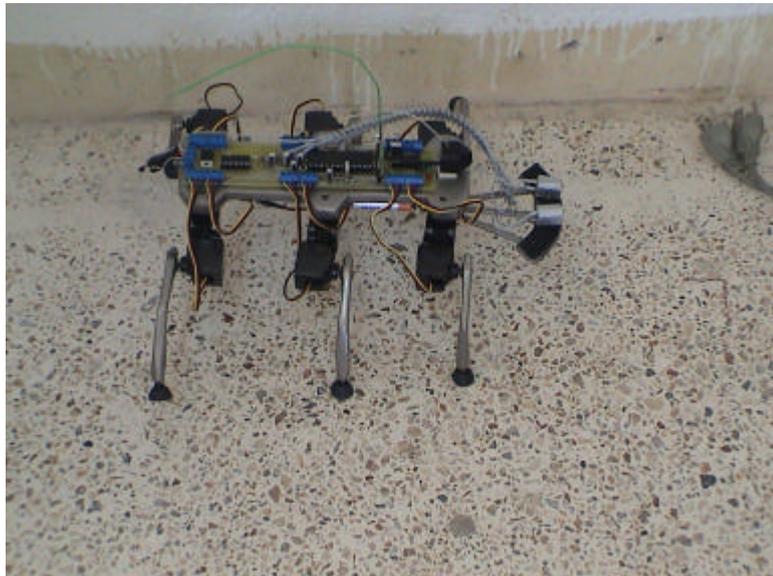


Figura.6.3. Vista lateral de caminata sobre superficie lisa

6.3 CAMINATA SOBRE TERRENOS IRREGULARES.

Para el robot hexápodo construido existe gran dificultad al trasladarse en superficies con irregularidades muy grandes debido a la deficiencia de torque en los motores utilizados. También es conveniente mencionar si el robot se desplaza sobre superficies que no son muy sólidas, como el césped, presenta problemas por el funcionamiento propio del sensor ultrasónico, cuya onda emitida es absorbida y por lo que no se refleja apropiadamente en dichas superficies.

La figura 6.2 muestra al robot desplazándose sobre una superficie medianamente irregular.

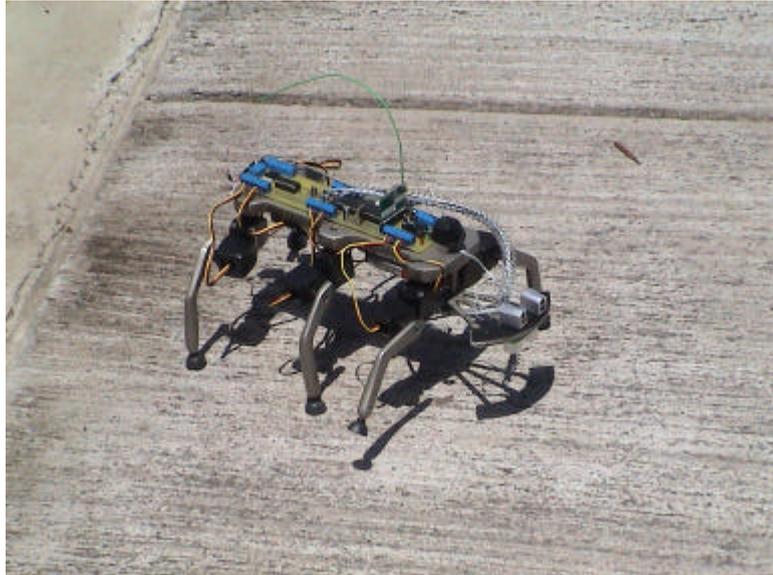


Figura.6.4. Robot desplazándose sobre una superficie medianamente irregular

6.4 CAMINATA SOBRE TERRENOS INCLINADOS

Esta prueba no es del todo satisfactoria porque el par de patas traseras o delanteras, de acuerdo al movimiento del robot ya sea bajando o subiendo respectivamente, experimentan un torque mayor que las demás patas impidiendo que el robot camine con facilidad, debido a que el punto del centro de masa del sistema cambia de acuerdo a la pendiente del terreno, y los servomotores no tienen el torque suficiente en caso de que la pendiente sea muy pronunciada. A pesar de todo lo anterior el robot hexápodo puede desplazarse sobre terrenos inclinados con dificultad, y además considerando que las superficies deben ser con una inclinación no muy pronunciada.

La figura 6.5 y 6.6 muestra al robot hexápodo subiendo y bajando sobre un terreno inclinado.

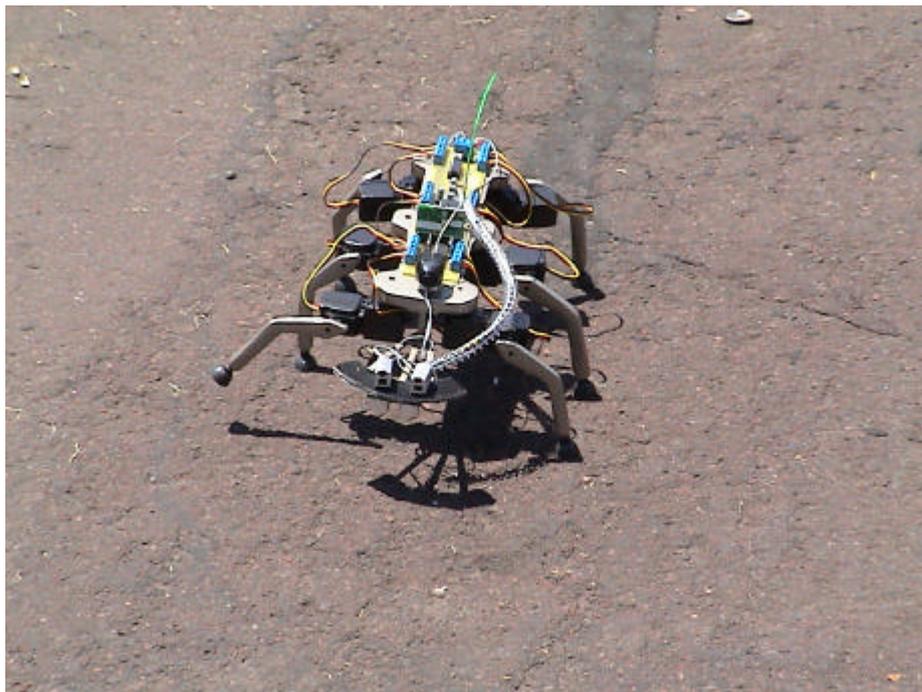


Figura.6.5. Robot descendiendo sobre una superficie inclinada

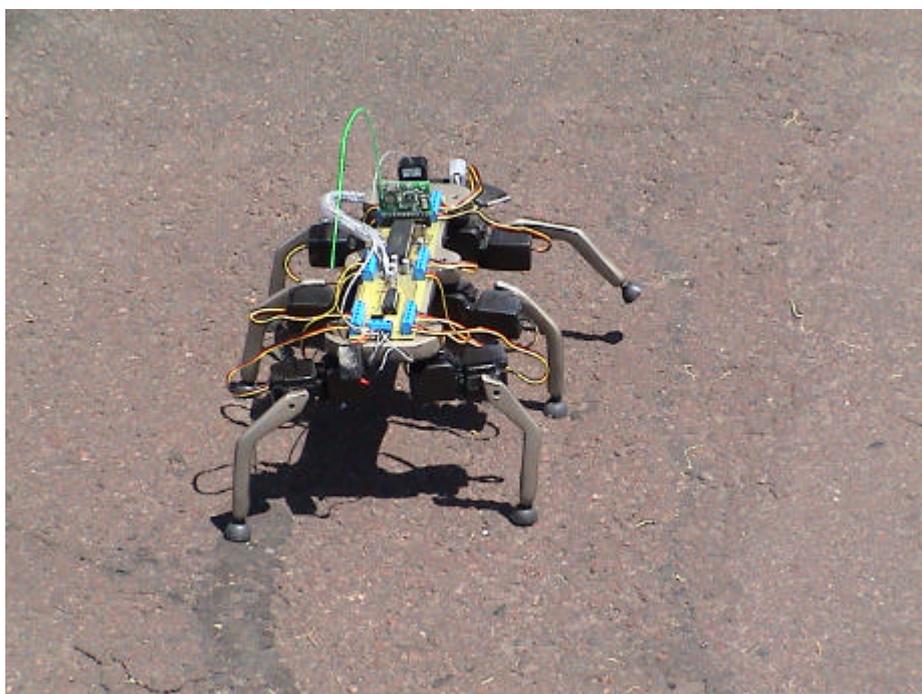


Figura.6.6. Robot subiendo sobre una superficie inclinada

6.5 COMPORTAMIENTO DEL HEXÁPODO FRENTE A OBSTACULOS GRANDES Y HUECOS.

El robot hexápodo es capaz de movilizarse de una manera libre evitando obstáculos grandes como paredes o huecos, por que tiene montado sensores de proximidad, para el caso de presentarse obstáculos como paredes el robot posee sensores infrarrojos, lo que la distancia a la que el sensor detecta la pared depende del color y textura de ésta. Esto se debe al principio físico de los sensores infrarrojos, por que dependen de la propiedad del objeto donde incide el haz infrarrojo para reflejarlo, es así que el robot detectará obstáculos de colores claros a una mayor distancia que los de colores oscuros, siendo el caso mas crítico los objetos de color negro. A pesar de esta limitación el robot hexápodo no cambia su comportamiento de lo normal y tampoco pierde su capacidad de evitar obstáculos. La tabla 4.1 muestra datos de distancias adecuadas a la cual se detecta el objeto, esto de acuerdo a las pruebas con diferentes colores de objetos.

Color del objeto	Distancia a la cual se detecta el objeto (mm)
Negro	15
Café Oscuro	50
Café Claro	90
Blanco	130

Tabla. 6.1 distancia de detección de obstáculos de los sensores infrarrojos

El robot construido está dotado de dos sensores ubicados a los costados tanto derecho como izquierdo, los mismos que están dispuestos en la parte frontal del robot. Estos sensores detectan un obstáculo e indican al robot que acción debe tomar, es así que si es activado cualquier sensor el robot debe detenerse y esperar orden de control correspondiente.

En la figura 6.7 se observa al robot evitando un obstáculo.

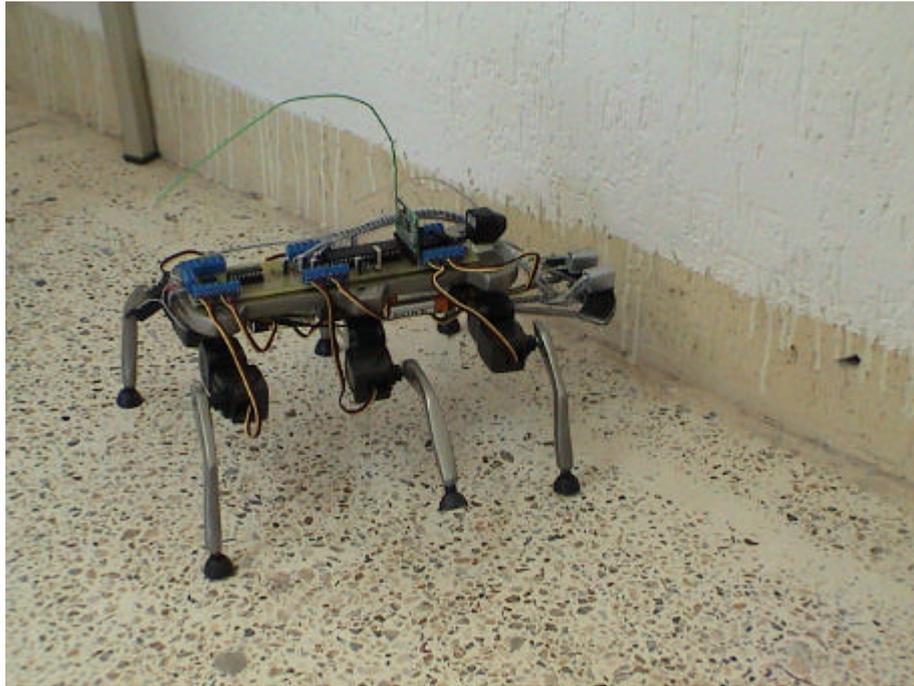


Figura.6.7. Robot deteniéndose frente a un obstáculo

6.6 COMPORTAMIENTO DEL HEXÁPODO FRENTE A HUECOS

Debido a la falta de capacidad de reacción en los sensores infrarrojos para detectar colores oscuros, no son tomados en cuenta en la detección de agujeros para que el robot los evite, por lo cual se ha visto la necesidad de utilizar un sensor ultrasónico que fue detallado en el capítulo II. De las pruebas realizadas con este sensor se observa que el robot se comporta muy bien ante la presencia de huecos, deteniéndose ante la presencia de estos.

En la figura 6.8 se observa al robot evitando una caída.

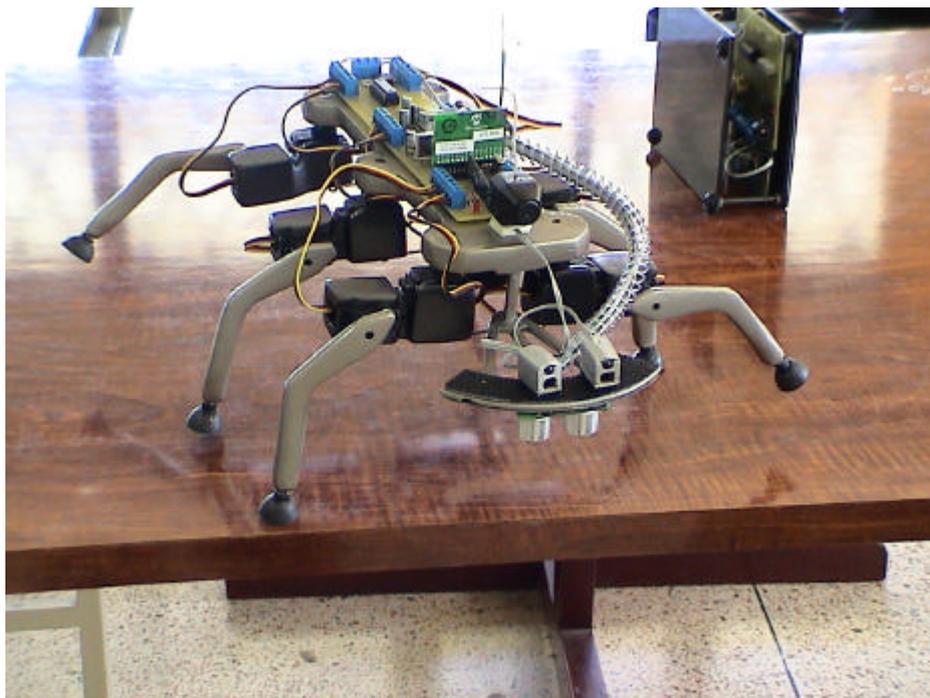


Figura.6.8. Robot deteniéndose ante la presencia de un hueco

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- En este Proyecto se alcanzo satisfactoriamente los objetivos planteados, tanto en la caminata como en la tele operación desde el mando remoto; sin embargo presenta ciertas restricciones cuando la caminata se realiza en superficies no planeadas, debido a las limitaciones de los sensores y principalmente de los actuadores ya que no fueron sobredimensionados debido al muy alto costo de cada uno de ellos.
- El robot construido tiene un comportamiento tipo reactivo porque no tiene ningún tipo de trayectoria fija a seguir o algún modelo del entorno, sino que reacciona ante los estímulos de éste, por lo que este tipo de comportamiento restringe un tanto al robot en cuanto a su capacidad de desplazarse; esto también por tener una percepción limitada del ambiente, pero presenta otras ventajas como la rapidez de procesamiento de la información y por ende la toma decisiones que el robot debe adoptar.
- El robot construido tiene bastante estabilidad en su desplazamiento, porque se escogió el método de caminata por paso de la ondulación, lo que permite mantener 4 patas asentadas al piso, aunque este no es el método más rápido de caminata, pero se lo escogió para dar mayor estabilidad al robot. El tipo de método de caminata escogido depende del diseño mecánico del robot.

- Para mantener una mayor estabilidad en el avance del robot se tiene corto el ángulo de desplazamiento hacia adelante y hacia atrás de las articulaciones, en todas las funciones que realiza el hexápodo: caminar hacia delante, caminar hacia atrás, girar a derecha, o girar a izquierda. Esto quiere decir que si los ángulos de desplazamiento son muy grandes la estabilidad del robot esta en peligro.
- Para garantizar la estabilidad se usa algoritmos que mantengan el centro de masa dentro del área formada por las patas que se encuentran en el piso, lo que permite una buena coordinación de los movimientos para este tipo de robot, sin embargo la efectividad de este método ha sido basada en la necesidad de operar a bajos niveles de velocidad, donde la cinemática domina el comportamiento, porque se sacrifica la velocidad por la fuerza necesaria para mantener la estabilidad.
- La resistencia de los materiales a la torsión es muy importante al momento de seleccionar los mismos, porque cuanto más se doblen los materiales cuando el robot esta caminando mayor será el torque necesario para mover el robot, con lo que se comprueba que el torque ejercido por los motores aumenta considerablemente mientras menos rígidas sean las piezas.
- Se seleccionó bs servomotores como actuadores para el movimiento de robots articulados, porque permiten el control exacto de su posición en cualquier instante.
- El tipo de servomotor seleccionado no necesita un lazo cerrado de control, debido a que posee internamente la circuitería necesaria para realizar el control de posición, por lo que se controla el movimiento del hexápodo mediante una serie de secuencias de pulsos aplicadas individualmente a cada motor de manera coordinada. La generación de pulsos se realiza por el microcontrolador.

- Los problemas mecánicos en las articulaciones se solucionó de una manera segura y rápida mediante ciertas correcciones en los ángulos de desplazamiento de los servos, lo cual se hizo modificando el ancho de pulso que se da a cada servo.
- Los sensores infrarrojos son estables en su operación, pero tienen las desventajas de que no son de gran alcance y no son inmunes al sol, por lo que estos sensores podrían no detectar un objeto resplandeciente o luminoso, produciendo que el robot choque, o por el contrario dar un pulso falso haciendo que el robot se detenga.
- Debido a que el robot hexápodo usa 12 servos y sensores externos para su funcionamiento y navegación, el consumo de corriente es bastante elevado, razón por la cual se utilizó baterías de 1.2 V y 2300 mAh, lo cual permite hacer funcionar al robot por un periodo de tiempo prolongado. Además las baterías tienen un determinado peso que debe ser considerado al momento de definir el centro de masa del robot, razón por la cual estas fueron colocadas debajo del cuerpo entre las articulaciones delanteras y medias.
- Los sistemas robóticos con patas tienen la habilidad para caminar sobre terrenos escabrosos y superficies irregulares, por lo que los sistemas de locomoción con patas tienen muchas aplicaciones de carácter social o investigativo, tales como ayuda a minusválidos y ancianos, operaciones en áreas hostiles o áreas inaccesibles, e incluso en aplicaciones de entretenimiento como las famosas mascotas robot.

7.2 RECOMENDACIONES

- Distribuir más sensores en los robots móviles, porque tendrán mayor facilidad para interactuar en el entorno y por lo tanto realizar sus funciones de manera automática.

- Se recomienda usar sensores ultrasónicos en lugar de ópticos, porque los sensores de proximidad ópticos utilizados en el proyecto (IS471F), no son inmunes totalmente a interferencias de luz normal, especialmente cuando están bajo la incidencia directa de los rayos solares.
- Poner todas las protecciones para evitar cortocircuitos cuando se trabaja con baterías en robótica móvil, porque estos cortocircuitos pueden causar calentamiento en las baterías, produciendo disminución en su vida útil, dañarlas definitivamente, o en el peor de los casos explotar y causar daño al operario.
- Se recomienda el uso de materiales livianos y resistentes en el ensamblaje del robot, ya que esto reduce considerablemente el peso total del robot, lo que es un factor bastante crítico a tener un mayor peso porque sería necesario utilizar servomotores de mayor torque, y a su vez es muy difícil conseguir en el mercado local, triplicándose el precio de los servomotores estándar utilizados.
- Se recomienda el uso de paquetes computacionales de modelado y simulación de piezas mecánicas, lo cual facilita el entendimiento y comprensión de lo que se debe hacer en la realidad, y a su vez da una idea de cómo quedarían las piezas ya construidas.
- Se recomienda para una adecuada movilización del robot sobre ambientes naturales con terrenos irregulares y demasiados obstáculos, combinar la movilización autónoma con una operación a distancia, consiguiendo así una gran capacidad de exploración de obstáculos. Es por esto que en el presente proyecto se toma muy en cuenta esta parte, ayudándose de un sistema de visión como es la mini cámara de audio y video, que ayuda a ver el entorno por donde el robot camina, para luego enviarle la orden respectiva para que corrija la dirección de su desplazamiento.

- Se recomienda que la distancia del control remoto no sobrepase los 50 metros en línea de vista; esto garantiza la correcta recepción y transmisión de las señales tanto de control realizada por los rPICS, como de audio y video realizada por el kit cámara wireless.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

ANGULO, Jose Ma., **Microcontroladores PIC. Diseño práctico de aplicaciones**, segunda edición, editorial Mc Graw Hill, Madrid, 2000, pp 231.

REHG, James A., **Introduction to robotics in CIM systems**, third edition, BIPRENTICE-HALL, INC, 1997

ANGULO, Jose Ma., ROMERO Susana, ANGULO Ignacio **Microbótica**, edición Paraninfo, 1999.

INTERNET

<http://www.microchip.com>, Hojas de datos técnicos.

<http://zeus.uam.mx>, Microcontroladores, servomotores.

<http://www.x-robotics.com/sensores.htm>, Tipos de sensores.

<http://scmstore.com/servos>, Información sobre servomotores.

<http://www.parallaxinc.com>, información sobre PIC's

<http://www.mecanique.com>, programación en Basic

<http://www.superrobotica.com>, Información sensores, actuadores

INDICE DE FIGURAS

Figura. 2.1. Diagrama servomotor típico.....	8
Figura. 2.2. Piezas dentro del Servomotor	8
Figura. 2.3. Generación de pulsos para un servomotor	10
Figura. 2.4. Giro del motor según la duración del pulso.....	10
Figura. 2.5 Generador de pulsos con 555	11
Figura. 2.7. Sensor Sharp IS471F.....	15
Figura. 2.8. Circuito para funcionamiento del Sensor Sharp IS471F.....	16
Figura. 2.9. Terminales de conexión del sensor SRF04	18
Figura. 2.10. Emisores de sonido del sensor SRF04.....	18
Figura. 2.11. Diagrama de tiempos del SRF04	19
Figura. 2.12. Angulo efectivo del SRF04	20
Figura. 2.13. Kit de microcámara inalámbrica.....	22
Figura. 2.14. Estructura típica de un Microcontrolador.....	24
Figura. 2.15. La arquitectura Harvard.....	25
Figura. 2.16. Microcontrolador PIC 16F877.....	27
Figura.2.17 rfPIC 12F675	28
Figura.2.18 Estructura del Módulo Transmisor	29
Figura. 2.19 Forma de Programar el módulo rfPIC12F675.....	31
Figura.2.20 Distribución de los pines del integrado	33
Figura.2.21 Módulo receptor rfRXD0420.....	33
Figura.2.22 Distribución de pines del rfRXD0420	36
Figura.3.1.Robot Hexápodo con dos grados de Libertad	38
Figura.3.2.Robot hexápodo RHex locomoción por remos	41
Figura.3.3 Robot hexápodo articulado Enconor	42
Figura. 3.4. Movimiento del hexápodo por el método de trípodas alternados	44
Figura.3.5. Orden de cada pata controlada para el movimiento del hexápodo.....	45
Figura.3.6. Movimientos del robot hexápodo por paso de la onda	45

Figura.3.7. Orden de cada pata levantada para el movimiento del hexápodo	46
Figura.3.8. Movimiento del robot hexápodo por paso de la ondulación	47
Figura.3.9. Mini servo	49
Figura.3.10. Estructura del Hombro Derecho de la Articulación.....	50
Figura.3.11. Estructura del Hombro Izquierdo de la Articulación.....	50
Figura.3.12. Pata izquierda con articulación fija y acople de engranes	51
Figura.3.13. Pata derecha con articulación fija y acople de engranes	52
Figura.3.14. Placa principal con acoples de engranes montaje de Hardware.....	53
Figura.3.15. Ensamblaje Servo-Soporte que forma el hombro	54
Figura.3.16. Conjunto Servo -Soporte formando hombro izquierdo	55
Figura.3.17. Conjunto Servo -Soporte formando hombro derecho	55
Figura.3.18. Conjunto Pata-Hombro formando la articulación izquierda	56
Figura.3.19. Conjunto Pata-Hombro formando la articulación derecha	56
Figura.3.20. Vista Frontal Conjunto Pata-Hombro-Cuerpo	57
Figura.3.21. Vista Posterior Conjunto Pata-Hombro-Cuerpo	57
Figura.4.1. Organigrama de Hardware de Robot Hexápodo.....	58
Figura.4.2. Conexión de pines con los diferentes dispositivos del Hardware	59
Figura.4.3. Conexión de Reset del Microcontrolador.....	60
Figura.4.4. Circuito de Reloj al Microcontrolador.....	60
Figura.4.5. Conexión de Servomotor al Microcontrolador.....	61
Figura.4.6. Circuito de Acondicionamiento Sensor Sharp IS471F	62
Figura.4.7. Circuito de recepción y decodificación de señal.....	63
Figura.4.8. Circuito de Control Remoto con Modulo LCD	64
Figura. 5.1. Arquitectura del programa en Estación Base y Robot.	67
Figura. 5.2. Numeración de patas del robot hexapodo.	71
Figura. 5.3. Numeración de servomotores conectados a las patas del robot.....	72
Figura. 5.4. Numeración de servos conectados al cuerpo	72
Figura. 5.5. Posición Inicial para comenzar caminata	75
Figura.5.6. Posición inicial para caminata hacia atrás.....	77
Figura.5.7. Posición inicial para giro a derecha	79
Figura.6.1. Vista superior de caminata sobre superficie lisa	84

Figura.6.2. Vista frontal de caminata sobre superficie lisa.....	85
Figura.6.3. Vista lateral de caminata sobre superficie lisa.....	85
Figura.6.4. Robot desplazándose sobre una superficie medianamente irregular.....	86
Figura.6.5. Robot descendiendo sobre una superficie inclinada	87
Figura.6.6. Robot subiendo sobre una superficie inclinada.....	87
Figura.6.7. Robot deteniéndose frente a un obstáculo	89
Figura.6.8. Robot deteniéndose ante la presencia de un hueco.....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla. 2.1. Valores de Control y disposición de cables.....	12
Tabla. 2.2. Características técnicas del SRF04	20
Tabla. 2.3. Características de la microcámara inalámbrica.....	23
Tabla.2.4 Funciones de los Pines del módulo receptor rfRXD0420.....	34
Tabla. 3.1. Principales características del Miniservo Utilizado.....	49
Tabla. 5.1. Detalle de conexión de pines del Microcontrolador.....	73
Tabla. 6.1 distancia de detección de obstáculos de los sensores infrarrojos	88