



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE PUEBLA

PROGRAMA ACADÉMICO DE
INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

Construcción de un Vehículo con Control de Señales para Movimientos Básicos

Alí Martínez González

Reporte Técnico PII-07-04-09

COMITÉ EVALUADOR

C. Dr. Antonio Benítez Ruíz (*Asesor*)
M.C. Horacio Rafael Sereno Peñaloza (*Sinodal*)
Dra. María Auxilio Medina Nieto (*Sinodal*)

PROFESOR(A) DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN II

Dra. María Auxilio Medina Nieto

Juan C. Bonilla, Puebla
Abril 2009

Índice

Capítulo 1. Planteamiento del Problema de Investigación

1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivo general.....	3
1.3. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación.....	4
1.5. Cronograma de actividades.....	5
1.6. Alcances y limitaciones.....	7
1.7. Recursos de hardware y software.....	8

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Introducción a la robótica.....	9
2.1.1 Definición robótica.....	9
2.1.2 Definición de robot.....	9
2.1.3 Clasificación de robots.....	9
2.1.3.1. Clasificación por generación.....	10
2.1.3.2. Clasificación por arquitectura generacional.....	11
2.1.3.3. Clasificación por nivel de inteligencia.....	12
2.1.3.4. Clasificación por nivel de control.....	13
2.1.3.5. Clasificación por lenguaje de programación.....	14
2.1.4 Morfología del robot.....	14
2.2 Motores eléctricos.....	15
2.2.1 Definición de motor eléctrico.....	15
2.2.2 Tipos de motores.....	15
2.2.3 Motores paso a paso (PaP).....	16
2.2.4 Funcionamiento de motores PaP.....	16
2.2.5 Tipos de motores PaP.....	17
2.2.6 Secuencias para manejar motores PaP unipolares.....	18

2.3 Comunicación alámbrica.....	21
2.3.1 Definición.....	21
2.3.2 Puertos de comunicación de la computadora.....	21
2.3.3 Puerto paralelo.....	21
2.3.4 Tipos de puerto paralelo.....	22
2.3.5 Características del puerto ECP.....	23
2.3.6 Cable paralelo.....	24
2.4. Programación de periféricos.....	26
2.4.1 Introducción.....	26
2.4.2 Envío de datos al puerto.....	27
2.4.3 Lectura de datos del puerto.....	28
2.4.4 Enmascaramiento.....	28
2.4.5 Trabajo relacionado.....	31

Capítulo 3. Diseño

3.1 Diseño de investigación.....	33
----------------------------------	----

Referencias.....	34
-------------------------	-----------

¿????? COMPLETAR EL ÍNDICE

Resumen

En este escrito se presentan las etapas de la realización del proyecto, para el cual se aplican conocimientos como programación de puertos, diseño de interfazs (hardware), robótica básica por mencionar algunos, esto para implementar un control de motores por puerto paralelo, diseño y construcción del vehículo e interfaz de comunicación (hardware), programación de rutinas todo esto para lograr que el vehículo realice movimientos básicos como avanzar, retroceder, girar a la derecha y girar a la izquierda.

El control de motores, programación en rutinas, el envío de señales por el puerto paralelo se logra mediante la programación en C por otra parte el diseño de la interfaz de comunicación (hardware) y diseño de mecanismo, se realiza mediante el uso de circuitos integrados, motores paso a paso también es importante mencionar que se tomo en cuenta las características de los componentes para así establecer funciones.

Por último se describen las pruebas realizadas al vehículo, así como los resultados obtenidos, en algunos casos se presenta la acción correctiva esto debido a que no se obtuvo el resultado deseado, de esta forma se estarán presentando rutinas que generen los movimientos deseados.

Capítulo 1. Planteamiento del Problema de Investigación

1.1. Introducción

La presente investigación se refiere a la “Construcción de un vehículo todo terreno con control de señales para movimientos básicos”, que es la primera etapa del proyecto titulado “Vehículo Robótico para Exploración y Planificación de Rutas” el cual está enfocado desde las áreas de informática y robótica. La Figura 1 muestra las etapas del segundo proyecto, al cual se le denominará proyecto general.

La robótica es la ciencia que estudia el diseño y construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas repetitivas, tareas en las que se necesita una alta precisión, tareas peligrosas para el ser humano o tareas irrealizables sin intervención de una máquina. Las ciencias y tecnologías de las que deriva podrían ser: el álgebra, los autómatas programables, las máquinas de estados, la mecánica, la electrónica y la informática [1] [6].

Actualmente existen “kits” de vehículos móviles los cuales contienen motores, chasis, tarjetas de control y software. La problemática de éstos es que presentan ciertas limitantes como el tiempo de vida de los motores, la expansión de tarjetas de control, entre otras.

El principal problema a resolver en esta etapa es el cambio de motores de CD que poseen los “kits” tradicionales a motores paso a paso (PaP).

Un motor PaP es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados (pasos) dependiendo de sus entradas de control. El motor PaP se comporta de la misma manera que un convertidor digital-analógico, puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas lógicos [2]. Este motor presenta las ventajas de tener alta precisión y repetibilidad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan: motor de frecuencia variable, motor de corriente continua sin escobillas, servomotor y motor controlado digitalmente.

Los motores PaP reproducen movimientos más exactos en comparación con los motores CD, permiten el control del movimiento. Un ejemplo es frenar un vehículo con un motor de CD, éste sólo se controla con voltaje, el cual al eliminarse deja de girar pero por la inercia que lleva el vehículo y sin un sistema de frenado, tiende a detenerse a determinada distancia. En cambio, con un motor PaP, al no proporcionar algún pulso lógico, éste se detiene inmediatamente [8]. Este proyecto utiliza motores PaP para construir un robot que permitirá a corto plazo probar algoritmos de exploración, de reconstrucción de ambientes y de planificación de movimientos.

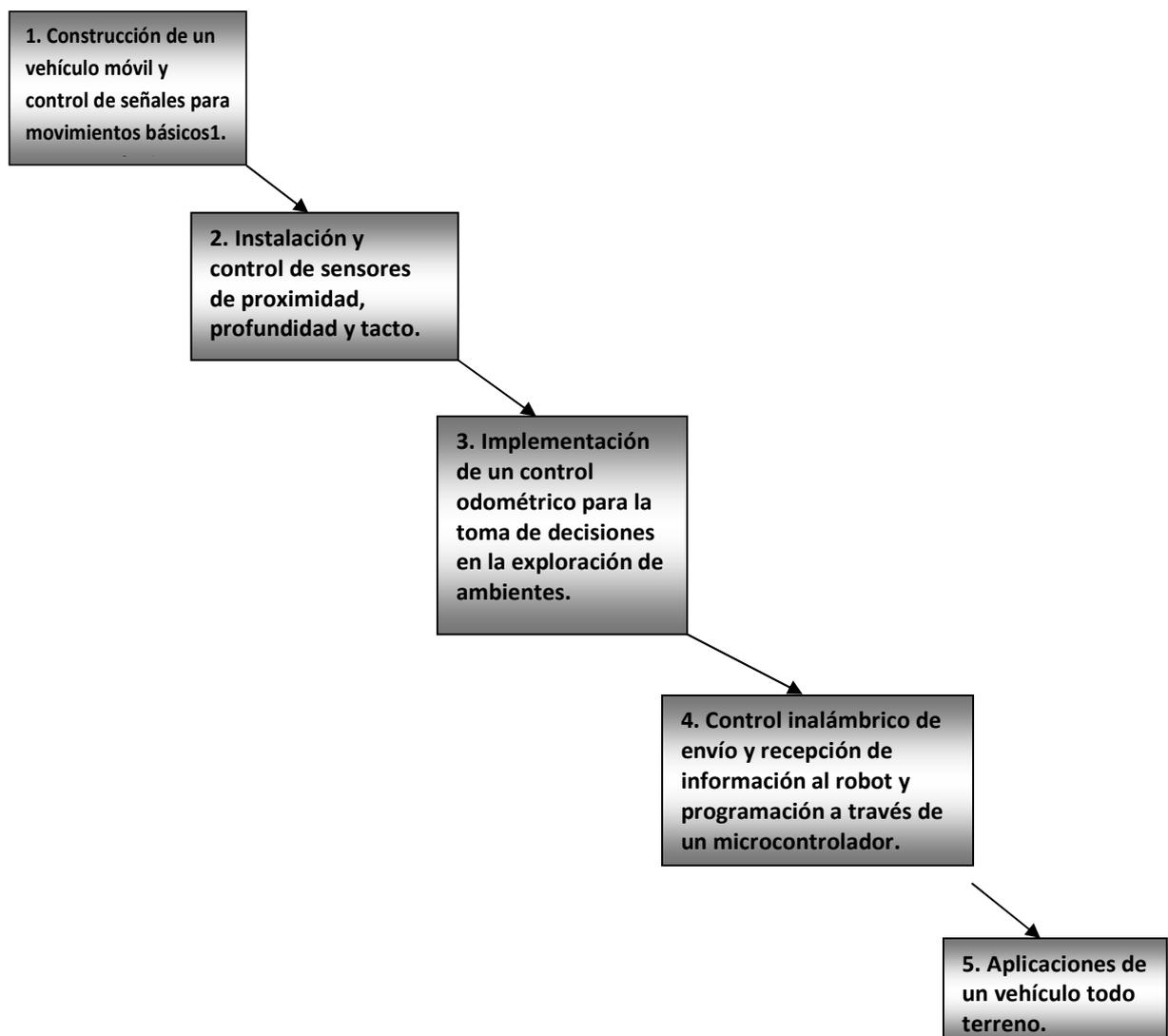


Figura 1. Etapas del proyecto “Vehículo Robótico para Exploración y Planificación de Rutas”

1.2. Objetivo general

Construir un robot tipo vehículo todo terreno que sea capaz de interpretar instrucciones y reproducir algoritmos de movimientos básicos para su desplazamiento.

1.3. Objetivos específicos

- Diseñar y construir una estructura para el chasis del robot basada en un kit de MECCANO que sea capaz de soportar tanto la tarjeta de control de motores como la integración de diferentes dispositivos que se incorporarán en etapas posteriores
- Construir un circuito electrónico que permita controlar las señales para cada uno de los cuatro motores del vehículo
- Diseñar e implementar una interfaz de hardware entre la computadora y el robot a través del uso del puerto paralelo para el envío de señales a la tarjeta controladora de motores
- Programar una interfaz de software en lenguaje C para el envío de señales e instrucciones básicas de movimiento (hacia delante, hacia atrás, vuelta a la derecha, vuelta a la izquierda) hacia el robot

1.4. Justificación

El robot propuesto en este documento es sólo la primera etapa del proyecto asociado a este desarrollo. El objetivo a largo plazo es que cada una de las 5 etapas que se consideran para su implementación incorpore nuevas funcionalidades, mismas que se integrarán para lograr un vehículo todo terreno capaz de realizar tareas de exploración, reconstrucción de ambientes y planificación de trayectorias. Este tipo de comportamientos pueden ser utilizados en procesos de automatización que algunas empresas utilizan.

Inicialmente, este proyecto integra pequeños desarrollos que pueden llevarse a cabo durante las materias del área de informática y del área de electrónica, ambas como parte de la formación de un ingeniero en informática.

En esta primera etapa se construirá el robot, una interfaz paralela para el control de motores y la programación de la interfaz de control de movimientos básicos. Los robots comerciales que podrían utilizarse para hacer este tipo de pruebas tienen costos que oscilan entre los 4,500 y los 200,000 pesos; los robots más caros poseen un mayor número de funcionalidades y soportan aplicaciones más grandes [7].

El robot que se va a construir empleará motores reciclados de impresora y estructuras de aluminio, será más económico que los kits robóticos comerciales. Por otro lado, la construcción del robot desde cero permitirá tener un mayor control sobre su funcionamiento, ya que se irán implementando nuevas funciones según las necesidades.

Como primer elemento importante en el desarrollo de este robot es el uso de motores PaP, los cuales trabajan bajo control de pulsos, esto permite que el control sea más preciso que en motores comúnmente utilizados como CD [2].

1.5 Cronograma de actividades

Actividad	Chasis	Enero				Febrero				Marzo				Abril			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Conseguir componentes para el circuito	Compra de componentes	■															
Armar circuito de señales	Circuito armado en Protoboard		■														
Unir circuito de control y de señales	Nuevo circuito montado en baquelita			■													
Probar circuitos unidos	Revisión de señales de salida del circuito				■												
Conectar motor PaP al nuevo circuito	Nuevo montaje					■											
Probar motor PaP con el circuito	Verificar que se realicen los movimientos						■										
Investigar programación del puerto paralelo(C++)	Documento o pdf							■									
Revisar literatura de programación en C++	Conocimientos de envío de señales								■								
Programar envío de señales por paralelo	Código en C									■							
Probar el software de envío de señales(solo)	Secuencia de señales										■						
Probar el motor y circuito con el software	Movimientos del motor											■					
Buscar modelos Meccano	Diseños de estructura												■				
Seleccionar modelos Meccano	Modelo adecuado													■			
Construir del chasis Meccano	Chasis														■		
Modificar el modelo Meccano	Realización de adaptaciones															■	
Adaptar motores y circuitos en el chasis	Movil totalmente armado																■
Programar rutinas de movimientos(adelante/atrás)	Código en C																■
Probar rutinas de movimiento(adelante/atrás)	Desplazamiento del movil																■
Programar rutinas de movimiento (derecha/izquierda)	Código en C																■
Probar rutinas de movimiento(derecha/izquierda)	Desplazamiento del movil																■
Redacción de los capítulos del proyecto	Documento desarrollo																■
Revisión de proyecto de investigación	Revisión dudas y correcciones																■
Presentación de protocolo de investigación	Documento 1ª parte																■
Redacción del protocolo de investigación	Documento con correcciones																■

1.6 Alcances y limitaciones

Alcances

- Construir el chasis con el material del kit MECCANO para que pueda adaptarse a las tarjetas de control y motores
- Construir el circuito para el control de señales de los motores PaP
- Diseñar la interfaz de hardware entre computadora y robot usando el puerto paralelo
- Crear una interfaz de software en lenguaje C para el control de señales
- Programar rutinas en lenguaje C para movimientos básicos (hacia delante, hacia atrás, vuelta a la derecha, vuelta a la izquierda)

Limitaciones ¿???? PONER LAS LIMITACIONES EN TÉRMINOS DE LA COMPLEJIDAD DEL PROYECTO, NO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

- El tiempo de entrega es reducido por lo cual solo se realiza esta primera etapa.
- La realización de pruebas requiere dedicación de tiempo para que se obtengan los resultados deseados.

1.7 Recursos de hardware y software

Recursos de hardware

- Computadora con procesador P4 2.4Mhz, 1GB de RAM.
- Kit MECCANO (Solo estructura de aluminio).
- Motores pasó a paso (de impresora).

Recursos de software

- Editor Bloodshed Dev C++ Version 4.9.9.2
- Sistema Operativo Windows XP Profesional Service Pack 3
- Lenguaje de Programación C.
- Microsoft Word.

Capítulo 2. Marco Teórico

2.1. Introducción a la robótica

2.1.1 Definición de robótica.

La robótica se refiere al conjunto de conocimientos teóricos y prácticos que permiten diseñar, fabricar y programar dispositivos mecánicos dotados de un determinado grado de inteligencia, comúnmente llamados robots, los cuales son capaces de desempeñar tareas repetitivas, tareas en las que se necesita alta precisión, tareas peligrosas para el ser humano o tareas irrealizables sin intervención de una máquina. Las ciencias y tecnologías de las que deriva podrían ser: el álgebra, los autómatas programables, las máquinas de estados, la mecánica, la electrónica y la informática [9] [13] [2].

2.1.2 Definición de robot

Un robot se define como una entidad hecha por el hombre con un cuerpo (anatomía) y una conexión de retroalimentación inteligente entre el sentido y la acción directa no bajo del control humano. El término robot ha sido utilizado como un término general que define a una máquina mecánica o autómata que imita a un animal, ya sea real o imaginario, pero se ha venido aplicado a muchas máquinas que reemplazan directamente a un humano o animal en el trabajo o el juego. Esta definición podría implicar que un robot es una forma de biomimetismo. Se ha avanzado mucho en el campo de los robots con inteligencia alámbrica. Las acciones de este tipo de robots son generalmente llevadas a cabo por motores o actuadores que mueven extremidades o impulsan al robot [6].

2.1.3 Clasificación de robots

Los robots han sido clasificados de acuerdo a su generación, a su nivel de inteligencia, a su nivel de control y a su nivel de lenguaje de programación.

2.1.3.1. Clasificación por generación

La generación de un robot se determina por el orden histórico de desarrollos en la robótica. Cinco generaciones son normalmente asignadas a los robots industriales [10]:

1º Generación: El sistema de control está basado en la “paradas fijas” mecánicamente. Como ejemplo de esta primera generación están los mecanismos de relojería que mueven las cajas musicales o los juguetes de cuerda.

2º Generación: El movimiento se controla a través de una secuencia numérica almacenada en disco o cinta magnética. Por regla general, este tipo de robots se utiliza en la industria automotriz y son de gran tamaño.

3º Generación: Las computadoras para el control y los robots tienen cierta percepción de su entorno a través del uso de sensores. En esta generación se inicia la era de los robots inteligentes y aparecen los lenguajes de programación para escribir los programas de control. El proyecto se considera de esta generación ya que su control recibe instrucciones de una computadora.

4º Generación: Los robots de esta generación son altamente inteligentes con más y mejores extensiones sensoriales para entender sus acciones y captar el mundo que los rodea. Incorporan conceptos de modelos conductuales.

5º Generación: Esta actualmente en desarrollo, basa la acción de los robots principalmente en modelos conductuales establecidos. En la última etapa del proyecto general, el robot se colocará en esta etapa ya que se comportara según la circunstancia en la que se encuentre.

2.1.3.2. Clasificación por arquitectura generacional

Esta clasificación se basa en la tecnología aplicada para el control de movimientos.

¿CUAL ES LA REFERENCIA DE ESTA CLASIFICACIÓN?

- **Robots Play-back:** Reproducen una secuencia de instrucciones grabadas. Estos robots comúnmente tienen un control de lazo abierto. La 3ª etapa del proyecto general entra en esta clasificación ya que se implementará un controlador de interfaz periférico (PIC).
- **Robots controlados por sensores:** Tienen un control de lazo cerrado de movimientos manipulados y toman decisiones con base en los datos obtenidos por sensores. En la 3ª etapa del proyecto general entra en esta clasificación ya que se implementarán sensores de proximidad.
- **Robots controlados por visión:** Pueden manipular un objeto al utilizar información desde un sistema de visión.
- **Robots controlados adaptablemente:** Pueden reprogramar automáticamente sus acciones sobre la base de los datos obtenidos por los sensores. En la 3ª etapa del proyecto general se considera en esta clasificación, ya que los sensores de proximidad enviarán datos para el control.
- **Robots con inteligencia artificial:** Utilizan las técnicas de inteligencia artificial para hacer sus propias decisiones y resolver problemas. En la 3ª etapa del proyecto entra en esta clasificación, ya que los sensores enviarán información al sistema de control para que realice la acción más adecuada.
- **Robots médicos:** Consiste fundamentalmente de prótesis que se adaptan al cuerpo y están dotados de potentes sistemas de mando. Con ellos se trata de igualar la precisión de movimientos y las funciones de los órganos o extremidades.

- **Androides:** Parecen y actúan como seres humanos. Estos robots vienen en todas las formas y tamaños, pero a excepción de los que aparecen en las ferias y espectáculos, no se parecen a las personas y por tanto no son androides. Actualmente, los androides reales sólo existen en la imaginación y en las películas de ciencia ficción.
- **Robots móviles:** Provistos de patas, ruedas u orugas que los capacitan para desplazarse de acuerdo su programación. Procesan la información que reciben a través de sus propios sistemas de sensores. Se emplean en determinado tipo de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan robots de este tipo para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y las investigaciones o rescates submarinos. En esta clasificación entra el robot del proyecto debido a que emplea ruedas para desplazarse.

2.1.3.3. Clasificación por nivel de inteligencia

La Asociación de Robots Japonesa (JIRA) ha clasificado a los robots dentro de seis clases con base en el nivel de inteligencia [11].

- **Dispositivos de manejo manual:** Controlados por una persona.
- **Robots de secuencia arreglada:** Poseen una secuencia previamente establecida la cual comúnmente no cambia.
- **Robots de secuencia variable:** El operador puede modificar la secuencia fácilmente. El proyecto se incluye en esta clase ya que las rutinas que realice el robot las manipulará el usuario.
- **Robots regeneradores:** El operador humano conduce el robot a través de la tarea. El proyecto se coloca en esta clase ya que el robot es controlado por instrucciones del usuario.

- **Robots de control numérico:** El operador alimenta la programación del movimiento, hasta que se enseñe manualmente la tarea.
- **Robots inteligentes:** Pueden entender e interactuar con cambios en el medio ambiente. En la 4ª etapa el proyecto general es de esta clase por los sensores que identificarán los cambios en el ambiente que se desarrolla.

2.1.3.4. Clasificación por nivel de control

Los programas en el controlador del robot pueden ser agrupados de acuerdo al nivel de control que realizan o su predecibilidad en las formas para realizar su función [11].

- **Nivel de inteligencia artificial:** El programa aceptará un comando como "levantar algún objeto" y lo descompondrá dentro de una secuencia de comandos de bajo nivel basados en un modelo estratégico de las tareas. En la etapa final del proyecto general, el robot en base a información recibida por los sensores realizará algún movimiento el cual llevará cierto número de tareas.
- **Nivel de modo de control:** Los movimientos del sistema son modelados, lo cual requiere de la interacción dinámica entre los diferentes mecanismos, trayectorias planeadas y los puntos de asignación seleccionados. El robot del proyecto reproducirá rutinas de movimientos básicos, por ello se considera de esta clase.
- **Niveles de servosistemas:** Los actuadores controlan los parámetros de los mecanismos con el uso de una retroalimentación interna de los datos obtenidos por los sensores y se modifica la ruta. Todas las detecciones de fallas y mecanismos de corrección son implementadas en este nivel. Principalmente por el uso de motores PaP, el proyecto se ubica en esta clase.

2.1.3.5. Clasificación por lenguaje de programación

En la clasificación final se considerará el nivel del lenguaje de programación. La clave para una aplicación efectiva de los robots para una amplia variedad de tareas, es el empleo de lenguajes de alto nivel. Existen muchos sistemas de programación de robots, aunque la mayoría del software avanzado se encuentra en los laboratorios de investigación [11]. Los sistemas de programación de robots se consideran de tres clases:

- **Sistemas guiados.-** El usuario conduce el robot a través de los movimientos a ser realizados. El robot reproducirá rutinas de movimientos básicos programados por el usuario.
- **Sistemas de programación de nivel-robot.-** El usuario escribe un programa de computadora al especificar el movimiento y el sentido.
- **Sistemas de programación de nivel-tarea.-** El usuario especifica la operación por sus acciones sobre los objetos que el robot manipula.

2.1.4. Morfología del robot

Un robot está formado por los siguientes elementos [14]:

- Estructura mecánica
- Transmisiones
- Sistema de accionamiento
- Sistema sensorial
- Sistema de control y elementos terminales

Aunque los elementos empleados en los robots no son exclusivos de éstos, (máquinas herramientas y otras emplean tecnologías semejantes), las altas prestaciones que se exigen a los robots han motivado que en ellos se empleen elementos con características específicas como las siguientes:

- Grados de libertad (GDL)
- Zonas de trabajo y dimensiones del manipulador
- Capacidad de carga
- Exactitud y repetibilidad
- Precisión en la repetibilidad
- La resolución del mando
- Velocidad

2.2. Motores eléctricos

2.2.1 Definición de motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía eléctrica en energía mecánica [10].

2.2.2. Tipos de motores

Según la aplicación se emplean diversos tipos de motores los cuales pueden ser []: ¿???? NO ESTÁ LA REFERENCIA

- Motor de corriente continua
- Motor de imanes permanentes
- Motor de magnetización permanente
- Motor de reluctancia variable
- Motor eléctrico
- Motor eléctrico sin escobillas
- Motor monofásico de fase partida
- Motor paso a paso
- Motor paso a paso híbrido
- Motor piezoeléctrico

- Motor de derivación (shunt)

2.2.3. Motores paso a paso (PaP)

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

2.2.4. Funcionamiento de motores PaP

Básicamente, los motores PaP están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas en su estator. Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario, quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas [2]. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador CI [2] [11].

2.2.5. Tipos de motores PaP

Existen dos tipos de motores paso a paso [10][11]:

- Unipolares
- Bipolares

Unipolar: Los motores unipolares suelen tener 5 o 6 cables de salida, dependiendo de su conexión interna, (ver la Figura 2). Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. En la Figura 2.1 se aprecia un ejemplo de conexionado para controlar un motor paso a paso unipolar mediante el uso de un ULN2803, el cual es un arreglo de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas de hasta 500mA. Las entradas de activación (Activa A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por un micro-controlador [2] [11].

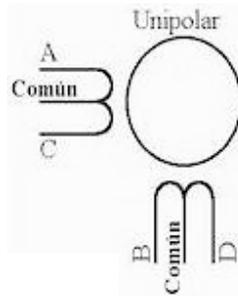


Figura 2. Motor PaP unipolar

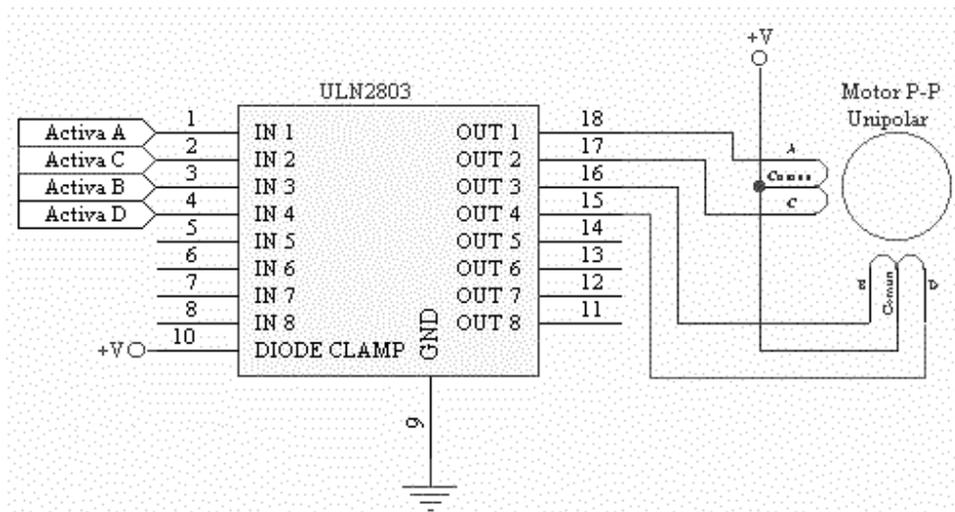


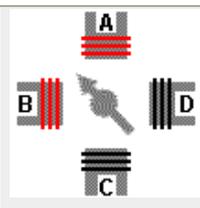
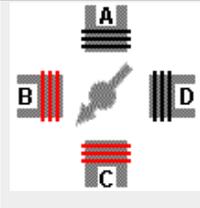
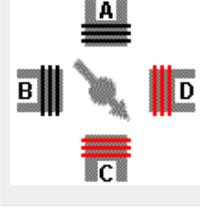
Figura 2.1 Circuito de potencia para motor PaP unipolar

2.2.6. Secuencias para manejar motores PaP unipolares

Existen tres secuencias posibles para los motores PaP unipolares, las cuales se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, las secuencias se deben ejecutar en modo inverso [11].

Secuencia Normal: La Tabla 1 muestra secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención. ¿???? ESTA ES LA PRIMERA VEZ QUE ESCRIBES TORQUE, POR ELLO, TE PEDIRÌA QUE AGREGARAS UN PIE DE PÀGINA CON UN ENUNCIADO QUE INDIQUE QUÈ ES ES

Tabla 1. Tabla de secuencia normal de motor PaP unipolar [11]

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	

4	ON	OFF	OFF	ON	
---	----	-----	-----	----	--

Secuencia del tipo “wave drive”. Esta secuencia activa sólo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar sólo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor, (ver la Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Tabla de secuencia wave drive de motor PaP unipolar [11]

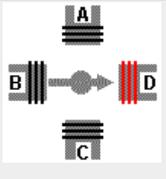
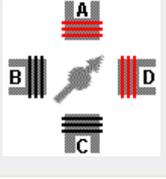
PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma que se brinda un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y

luego sólo una y así sucesivamente. Como muestra la Tabla 1.3, la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

Tabla 1.3 Tabla de secuencia medio paso de motor PaP unipolar [11]

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	
3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	

7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

2.3. Comunicación alámbrica

2.3.1. Definición

La comunicación alámbrica es un sistema que se basa en la transmisión de la información a través de canales de comunicación basados en cables metálicos que transportan corriente eléctrica, utiliza conductores de alambre y cables para enviar las señales eléctricas que han de llegar de transmisor a receptor [17].

2.3.2. Puertos de comunicación de la computadora

Los puertos de comunicación son herramientas que permiten manejar e intercambiar datos entre un computadora (comúnmente están integrados en las tarjetas madres) y sus diferentes periféricos, o entre dos computadoras. Entre los diferentes puertos de comunicación están los siguientes [18]:

- Puertos PS/2
- Puertos USB (Universal Serial Bus)
- Puertos Seriales (COM)
- Puertos Paralelos (LPT)
- Puertos RJ-11
- Puertos RJ-45
- Puertos VGA
- Puertos RCA

Actualmente las computadoras pueden poseer mayor o menor número de puertos, dependiendo de la configuración o uso de la misma.

2.3.3. Puerto paralelo

Los puertos paralelos son conectores utilizados para realizar un enlace entre dos dispositivos; en el sistema lógico se le conoce como LPT. El primer puerto paralelo se le denomina LPT1.

2.3.4. Tipos de puerto paralelo

El puerto paralelo desde su creación ha ido evolucionando por lo cual, existen diferentes tipos que varían según el manejo de datos o forma de trabajo [14], [15].

Unidireccional.- Puerto estándar 4-BIT que por defecto de fábrica no tenía la capacidad de transferir datos en ambas direcciones. ¿???? ES CORRECTO DECIR QUE POR DEFECTO DE FÁBRICA?

Bidireccional.- Puerto estándar 8-BIT que fue lanzado con la introducción del puerto PS/2 en 1987 por IBM y todavía se encuentra en computadoras hoy. El puerto bidireccional es capaz de enviar la entrada 8-bits y la salida. Hoy en las impresoras de múltiples funciones, este puerto se puede referir como uno bidireccional.

Puerto paralelo extendido (EPP).- Puerto desarrollado en 1991 por Intel, Xircom, funciona *cerca de velocidad* ¿???? NO ES CLARO, REVISAR LO DE CURSIVAS de una tarjeta ISA y puede alcanzar transferencias hasta 1 a 2MB / por segundo de datos.

Paralelo con capacidades extendidas (ECP): En la actualidad el puerto paralelo ECP es un estándar en todos los equipos desde 486, pero en muchos casos no se encuentra activado. Para activarlo hay que entrar en la configuración del CMOS de la computadora y habilitarlo manualmente. La innovación que se hizo en el puerto paralelo ECP con respecto a los anteriores, es que se transformó el puerto 378h de 8 bits en un puerto bi-direccional, manteniendo la configuración original de los demás como se ve en la Figura ¿????
AGREGAR UN NÚMERO DE FIGURA Y LA LEYENDA.

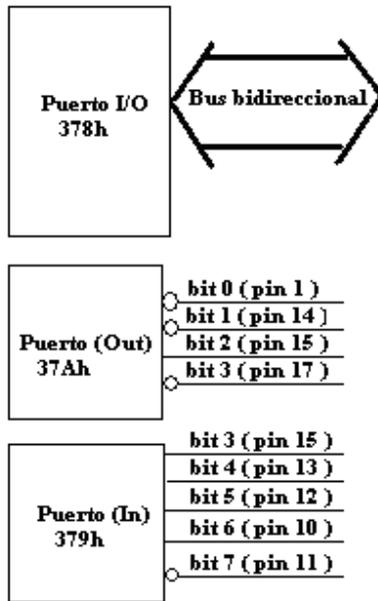


Figura X. Circuito de potencia para motor PaP unipolar

Actualmente existe un estándar compatible con tipos de puerto paralelo antecesores. ¿???????CUÁL ES? INDICAR AQUÍ SU NOMBRE

2.3.5. Características del puerto ECP

Desde el punto de vista del software, el puerto paralelo consta de tres registros (datos, estado y control) de 8 bits cada uno, en el conector hembra son 4 pines de líneas de control, 5 pines de líneas de estado y 8 pines de líneas de datos [14].

Cada puerto requiere tres direcciones de memoria consecutivas del espacio de E/S (entrada-salida) del procesador para seleccionar todas sus posibilidades. Las direcciones base estándar para los puertos paralelos son 0378h (LPT1), 0278h (LPT2) y 03BCh (LPT3). El puerto paralelo estándar (SPP) consta, de tres registros de 8 bits localizados en direcciones adyacentes del espacio de E/S del PC. Los registros se definen relativos a la dirección de E/S base (LPT_BASE) y son:

- LPT_BASE + 0: registro de DATOS

- LPT_BASE + 1: registro de ESTADO
- LPT_BASE + 2: registro de CONTROL

PONER AQUÍ PARA QUÉ SIRVE LA TABLA SIGUIENTE

Tabla X. PONER LEYENDA APROPIADA PARA LA TABLA

		REGISTROS			Nombre habitual
		DATOS	ESTADO	CONTROL	
DIRECCIÓN E/S	Puerto	378h	379h	37Ah	LPT1
	Puerto	278h	279h	27Ah	LPT2
	Puerto	3BCh	3BDh	3BEh	LPT3

La función normal del puerto consiste en transferir datos a una impresora mediante 8 líneas de salida de datos, usando las señales restantes como para el control de ésta. Sin embargo, puede ser usado como un puerto E/S de propósito general por cualquier dispositivo o aplicación que se ajuste a sus posibilidades de entrada/salida [13][14].

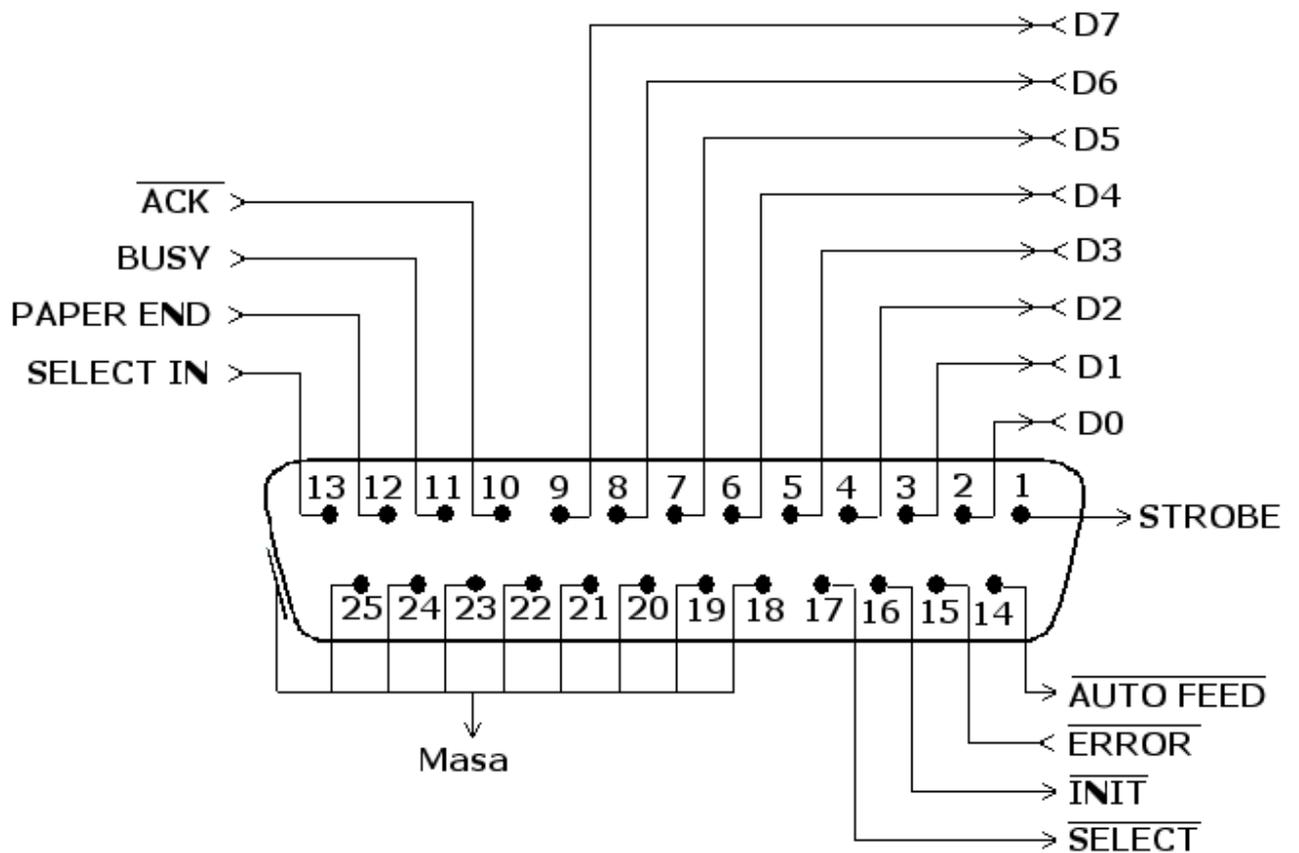


Figura 3. Función que cumple cada pin del conector del puerto paralelo.

La Figura 3 muestra la función de cada “patita” (pin de ahora en adelante) del puerto paralelo. Las etiquetas indican la función cuando tiene conectada una impresora. Las señales activas a nivel bajo aparecen con la barra de negación (por ejemplo, Strobe). Cuando se indica alto o bajo se refiere a la tensión en el pin del conector. Alto equivale a +5 V y bajo a 0 V en TTL[15].

- 8 líneas (pines) son para salida de datos (bits de DATOS). Sus valores son únicamente modificables a través de software, y van del pin 2 (dato 0, D0) al pin 9 (dato 7, D7).
- 5 líneas son de entrada de datos (bits de ESTADO), únicamente modificables a través del hardware externo. Estos pines son: 11, 10, 12, 13 y 15, del más al menos significativo.
- 4 líneas son de control (bits de CONTROL), numerados del más significativo al menos: 17, 16, 14 y 1. Habitualmente son salidas, aunque se pueden utilizar también como entradas y, por tanto, se pueden modificar tanto por software como por hardware.

- Las líneas de la 18 a la 25 son tierra [15].

Las 8 líneas de datos en un puerto paralelo moderno ¿???? MODERNO ES SUBJETIVO, PODRIAS ESPECIFICAR ESTA INFORMACIÓN? son bidireccionales, es decir que tanto se puede escribir un dato en él y leerlo desde una interfaz (usarlo como salida de información), como leer en él los datos que la interfaz escriba en el puerto.

Se debe tener presente que la capacidad del puerto de entregar corriente por estos pines es muy limitada, casi siempre se utiliza un circuito que amplifique esta señal para poder hacer algo útil con ella. Sin embargo, la corriente entregada es suficiente como para encender un led (diodo emisor de luz, ver apéndice al final) que sirva como “piloto” para conocer el estado de cada pin.

2.3.6. Cable paralelo

Cable paralelo es el cable de conexión para computadores definido por el estándar IEEE 1284. Anteriormente se utilizaba frecuentemente para la conexión de impresoras con computadoras compatibles. Actualmente ha sido reemplazado por el USB [16]. Contrario a la creencia popular, no hay un cable de paralelo de impresora "estándar". Comúnmente se habla del ensamblado con un conector DB25 macho en un extremo y un conector de 36 pines tipo Champ en el otro. Internamente, los cables tienen de 18 a 25 conductores y de 1 a 8 alambres de tierra, y pueden tener aislamiento individual, o trenzado, y posiblemente un conductor aterrizado [16]. Con este tipo de armado, no hay manera de controlar la impedancia del cable, la interferencia entre conductores, la capacitancia y el rendimiento. Este ensamblado es apropiado para operar a 10K bytes por segundo a 6 pies, pero no opera confiablemente a 2M bytes por segundo en cables de 30 pies [16].

Algunos parámetros para cumplir con el estándar IEEE 1284 de ensamblado incluyen:

- Todas las señales van por un par trenzado con un conductor de señal y uno de tierra de retorno.
- Cada par trenzado tiene una impedancia característica desbalanceada de 62 ± 6 ohms sobre la banda de frecuencia de los 4 a los 16 MHz.

- La interferencia de alambre a alambre no debe ser mayor al 10%.
- El cable deberá tener una cubierta óptica trenzada de 85% mínimo sobre el recubrimiento.
- El blindaje del cable deberá ser conectado al cascarón del conector.
- Los cables que cumplan con las especificaciones deberán ser marcados con: **IEEE Std 1284-1994 Compliant**.

2.4. Programación de periféricos

2.4.1 Introducción

Una computadora sólo es capaz de ejecutar órdenes y operaciones muy básicas como:

- Aritmética entera: sumar, restar, multiplicar, etc.
- Comparar valores numéricos y alfanuméricos.
- Almacenar o recuperar información.

Con la combinación de estas operaciones y gracias a su gran potencia de cálculo, la computadora puede llevar a cabo procesos muy complejos. Sin embargo, en cualquier caso, existe una estrecha dependencia de la computadora y el programador [13]. Los datos se introducen u obtienen mediante los periféricos de entrada y salida. Dependiendo de su función, los periféricos pueden clasificarse en [13]:

- **Periféricos de entrada.-** Su función es facilitar la introducción de datos y órdenes a la computadora. Ejemplo de estos periféricos son: teclado, ratón, lápiz óptico, lector de código de barras, escáner y tabla digitalizadora.
- **Periféricos de salida.-** Su función es mostrar al exterior información almacenada en memoria o los resultados de las operaciones realizadas. La pantalla y la impresora son algunos ejemplos.

- **Periféricos de entrada y salida.-** Su función es introducir y extraer información de la computadora. Algunos ejemplos de estos dispositivos son: discos, cintas magnéticas, o discos ópticos.
- **Periféricos de comunicación.-** Se encargan de establecer y facilitar el intercambio de información entre dos computadoras. Un modem y una tarjeta de red son algunos ejemplos.

2.4.2. Envío de datos al puerto

El puerto paralelo puede ser usado como para comunicación directa con el PC, de este modo es posible desarrollar aplicaciones en tiempo-real que necesiten un rápido tiempo de respuesta [13]. El acceso se realiza escribiendo un byte (8 bits) en un registro determinado. Este byte debe referirse a cada uno de los bits del registro, se escribe en sistema binario. Por ejemplo, si se desea escribir en el registro de datos el bit D0 y el bit D2 entonces el byte es:

0	0	0	0	0	1	0	1	= 5 En decimal
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Registro de datos

Luego, se debe escribir 5 en el registro de datos (dirección base):

Ejemplo:

dir_base y dir_estado es de tipo word, y dato es de tipo byte.

2.4.3. Lectura de datos del puerto

La lectura de datos se realiza accediendo a un byte del registro determinado. Al hacer la lectura, se debe convertir el byte a binario para determinar él o los bits que interesen. Note que sólo se debe leer el registro de estado, o sea, la dirección base + 1 [13].

Por ejemplo, si el dato leído es igual a 96, significa que los bits S5 y S6 están activos (tienen un nivel alto, un 1).

0	1	1	0	0	0	0	0	= 96 En decimal
S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0	Registro de estado

2.4.4. Enmascaramiento

Tanto en el envío como recepción de datos binarios, se realizan operaciones a nivel de bits. Estas operaciones permiten aislar uno más bits. Este proceso se denomina enmascaramiento. Por ejemplo, para saber si determinado bit que se ha leído del registro de estado está en un nivel alto (1 lógico) se puede hacer la operación "Y" lógica (AND) de la lectura con un valor que resulta de elevar 2 a la posición que ocupa ese bit en el byte, y luego realizar la comparación [13].

Si el bit que se desea conocer es el bit 5, entonces la operación es:

$$\text{Masc} = 2^5 = 32$$

(Byte_leído AND masc)

En el caso que el bit 5 esté en un nivel alto:

Byte_leído

0	1	1	0	0	0	0	0	96
S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0	Posición

AND

0	0	1	0	0	0	0	0	Máscara = 32
---	---	---	---	---	---	---	---	--------------

Resulta

0	0	1	0	0	0	0	0	32= máscara
---	---	---	---	---	---	---	---	-------------

En el caso que el bit 5 no esté en un nivel alto:

Byte_leído

0	1	0	1	0	0	0	0	80
S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	S0	Posición

AND

0	0	1	0	0	0	0	0	Máscara = 32
---	---	---	---	---	---	---	---	--------------

Resulta

0	0	0	0	0	0	0	0	0 <> máscara
---	---	---	---	---	---	---	---	--------------

Si el bit 5 es 1, entonces el resultado es 16, o igual a masc.

Haciendo la comparación:

Si (Byte_leido AND masc) = masc entonces

Si el bit 5 es 0, entonces el resultado siempre es 0, lo cual es diferente a masc.

En caso que se desee realizar el enmascaramiento de más de un bit, se realiza la suma los valores.

Ej. Máscara para el bit 5 y el 7

$$\text{Masc} = 2^5 + 2^7 = 160$$

2.4.5 Trabajo relacionado

Como trabajo relacionado, [20] realiza la construcción de un brazo robot el cual es controlado por señales del puerto paralelo. En este artículo se menciona que este puerto tiene capacidades que se pueden utilizar para aplicaciones de control, pues posee una relativa facilidad de manejo de la información en el bus de 8 bits de salida, así pues tomando en cuenta estas propiedades, se construye una interfaz para manejar de manera segura las señales del puerto, se añade un circuito de potencia a la salida de éste para el control de un motor PaP. Este primer trabajo diseña una interfaz con la que se controlan 4 motores PaP que forman un brazo robot. Así como en [20] en nuestro proyecto se ocupará un circuito de potencia para la salida, el cual será más reducido, ya que el vehículo debe ser ligero para que el peso no presente algún inconveniente para el movimiento.

También como en [20] se menciona que su circuito incorpora 4 motores PaP, en este proyecto se realizará el control del mismo número de motores PaP con la diferencia de que este proyecto los motores PaP se emplearán para el giro de las ruedas de desplazamiento.

Por otra parte, en [21] se implementó el control de motores PaP con un circuito más reducido en tamaño ya que sólo emplea un CI para el control de 2 motores PaP. Además, también se menciona el uso del software *Smalltalk en* el ambiente Squeak. Este paquete interactúa con la Input/Output dll, compilación de la librería “io.h” de C++, que resuelve la interacción de más bajo nivel con el puerto.

En *Smalltalk* todo concepto del dominio estudiado, en este caso el de los motores paso a paso, debe ser modelado como un objeto. El comportamiento de todo objeto debe estar definido por una clase. Por ello, el paquete utilizado provee una clase de nombre *ParallelPort* que define las responsabilidades del puerto y se encarga de interactuar con la I/O dll.

En [21] también se mencionan alternativas propuestas para conseguir que el circuito tome decisiones a partir de la lectura de alguna variable externa como puede ser la intensidad de luz sobre una fotorresistencia

Por último, también se apoya de un proyecto no formalmente documentado que es un brazo robot con motores PaP controlado por paralelo el cual posee una programación mínima la cual será de ayuda para las primeras pruebas de los motores PaP[19].

En nuestro proyecto en sus últimas etapas se implementarán sensores para obtener estas lecturas del ambiente y pueda realizar alguna toma de decisión en sus movimientos.

Es importante mencionar que en este proyecto el software de control será implementado por el usuario mas no se empleará alguno ya existente, esto permitirá en las demás etapas del proyecto realizar modificaciones según las necesidades que vayan surgiendo, así también se obtendrán movimientos más exactos.

Capítulo 3. Diseño

Existe gran cantidad de aplicaciones para el puerto paralelo, así como una gran variedad de robots móviles. El objetivo de este proyecto de investigación es la construcción de un robot móvil que realizará movimientos básicos. Para ello se construirán los elementos siguientes: 1) chasis, 2) interfaz de comunicación, 3) un sistema de control, 4) prototipo de software de control, 5) interfaz para enviar secuencias de datos binarios los cuales generarán los movimientos en los motores.

En el desarrollo del proyecto se realizarán diversas pruebas como las siguientes:

Pruebas de precisión de distancia.- Probar cuál es la configuración más adecuada para generar los pasos de los motores más exactos y observar los resultados que proporcionen las rutinas de movimientos programadas.

Pruebas de velocidad o frecuencia.- Realizar pruebas para observar cuáles son las velocidades soportadas o frecuencias de giro.

Pruebas de giros o vueltas.- Para verificar que la reproducción de los movimientos programados sea la adecuada y probar las diversas combinaciones de control de tracción para realizar un movimiento de la mejor forma.

Destina un tiempo aproximado de 5 días por prueba.

Capítulo 4. Implementación

4.1. Interfaz electrónica

La interfaz electrónica consta de 2 partes: Conector DB-25 y circuito amplificador de señal, éstas se describen a continuación.

1. Conector DB-25 configurado para salida de datos.- Este conector emplea sus 8 pines de salida de datos (del 2 al 9 ver Figura 12) de los cuales 4 son para el control del par de llantas del lado izquierdo (del 2 al 5) y los 4 restantes (del 6 al 9) para el par del lado derecho y se hace uso de los 8 pines de tierra.



Figura 12. Configuración del puerto paralelo

Circuito amplificador de señal.- Este circuito consta de los siguientes componentes electrónicos: circuito integrado (CI) ULN2803, resistencias de 330Ω y leds de colores. Estos componentes se montan en una baquelita perforada para un mejor ensamblado. El ULN2804 (ver Figura 3) es un amplificador cuya función principal es que los pulsos provenientes del puerto paralelo tengan mayor potencia, ya que como se mencionó en el capítulo anterior, éstos

manejan una corriente muy pequeña, de esta forma se garantiza que el pulso llega al motor para activar la bobina correspondiente.



Figura 13. Circuito integrado ULN2804

Las resistencias de 330Ω (ver Figura 14) se emplean en las salidas del circuito integrado como protección para los leds, ya que éstos pueden quemarse por recibir directamente el pulso del amplificador.

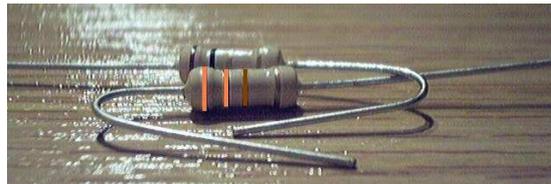


Figura 14. Resistencia de 330Ω

Los leds de colores (ver Figura 15) se emplean como indicadores de secuencia de pulsos o datos, éstos se colocan a la entrada y salida del circuito integrado para realizar un monitoreo de los datos con hardware.



Figura 15. Leds de colores o indicadores

El circuito queda armado de acuerdo al diagrama de las Figuras 16 y 17.

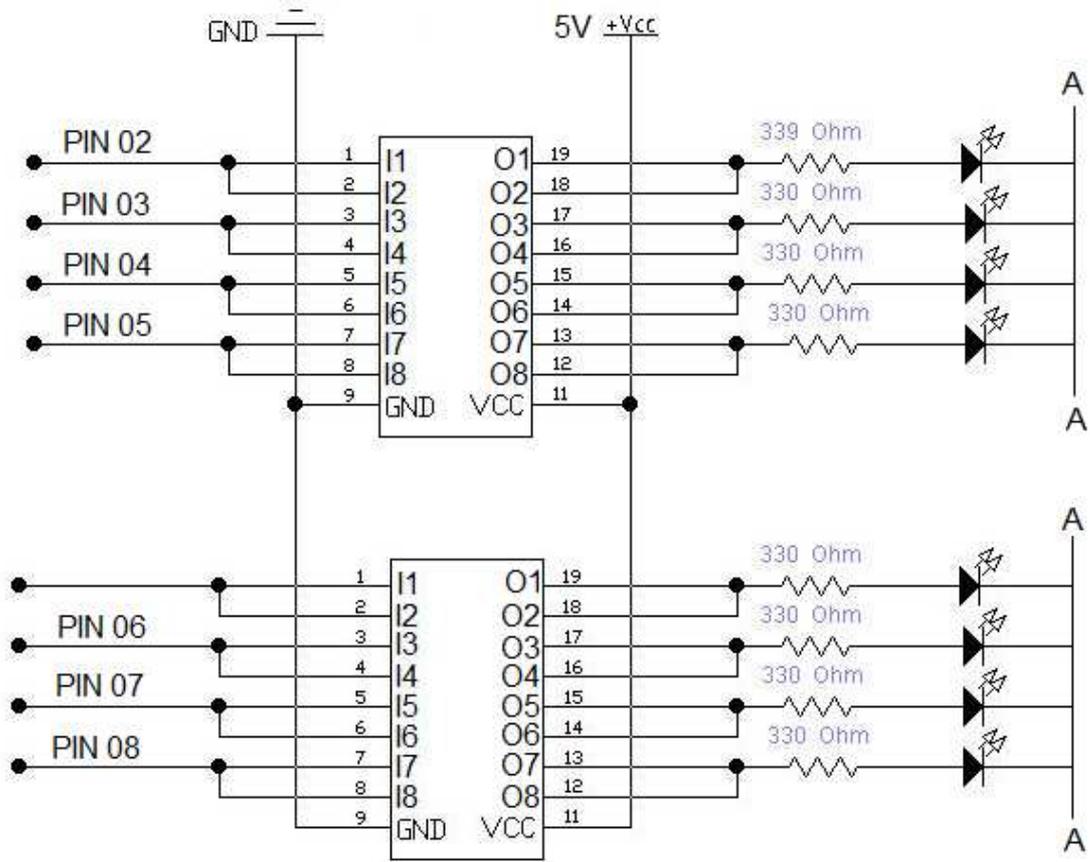


Figura 16. Circuito amplificador de señales del puerto paralelo.

4.2. Motores PaP unipolares

Los motores PaP unipolares son empleados por impresoras de matriz de puntos EPSON LX300, como la de la Figura 18, los cuales corresponden al sistema de movimiento del rodillo de papel. Estos motores cuentan con el número de parte EM-211, (ver la Figura 19).



Figura 18. Impresora EPSON LX-300



Figura 19. Motor PaP unipolar EM-211

Cada uno de los 4 motores PaP cuenta con un total de 6 cables de los cuales 4 son de bobinas y 2 de tierra. La configuración de los cables se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Configuración de cables de motor PaP unipolar

Color de cable	Uso
Rojo	Bobina 1
Amarillo	Bobina 2
Verde	Bobina 3
Azul	Bobina 4
Café	Tierra
Café	Tierra

4.3. Vehículo meccano

El diseño del vehículo mecano se basa en unos de los modelos del manual de construcción (ver Figura 20), el cual sufre unas modificaciones para la adaptación del circuito eléctrico y los motores. Esto da origen al nuevo diseño de la Figura 21.



Figura 20. Diseño meccano



Figura 21. Nuevo diseño

Para el diseño de la Figura 21 se agregaron piezas de aluminio para el soporte de los motores, debido a que sus perforaciones no coinciden con las del meccano, así como llantas con un diámetro mayor al mecano original porque el diámetro del cuerpo de los motores es mayor. Las llantas actuales provienen de un juguete y se muestran en la Figura 22, las cuales también se modificaron para adaptarse al rotor del motor PaP.



Figura 22. Llantas de juguete.

4.4. Fuente de poder

El vehículo está provisto de una fuente de alimentación externa para el funcionamiento del circuito amplificador, la cual proporciona 5 volts. Ésta es una ATX de 300W o una AT (ver Figura 23), comúnmente se usa en computadoras, ya que es confiable en su manejo de corriente, además de que se apaga automáticamente en caso de un corto circuito. A la fuente se le adaptaron cables de mayor longitud para permitir desplazamiento considerable del vehículo, esta adaptación se realiza en el conector para floppy llamado BERG o para disco duro llamado MÓLEX empleando sólo los cables amarillo que proporcionan 12V y el negro que corresponde a la tierra física (ver Figura 24).



Figura 23. Fuente ATX y AT.

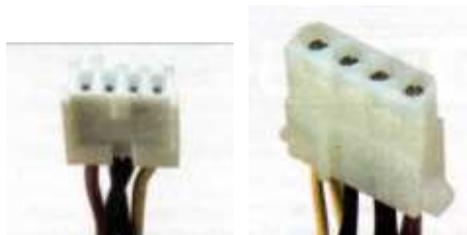


Figura 24. Conectores BERG y MÓLEX.

4.5. Programación de rutinas

4.5.1 Secuencias de torque de 4 pasos

La programación de las rutinas es el envío de números binarios a las salidas del puerto paralelo. Sólo se envían series de 8 bits, los cuales corresponden a las entradas de los motores, como se indica en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Equivalencias de bits, salidas de puerto paralelo y entradas de motores

	Motores B y B'(izquierdo)				Motores A y A'(derecho)			
Bobina	D	c	b	a	d	c	b	a
Paralelo	9	8	7	6	5	4	3	2
8 bits	0	0	0	0	0	0	0	0

En las siguientes tablas se muestran los números binarios que se envían por el puerto paralelo, la 'X' que es equivalente a 1, la cual indica la bobina del motor PaP que se activa.

La secuencia de giro a la derecha se realiza enviando datos sólo a los motores del lado opuesto, es decir, a los motores del lado izquierdo del vehículo, (ver la Tabla 4.3 y Figura 25).

Tabla 4.3. Valores para giro a la derecha.

Número binario	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	b	a	d	c	B	a
00000001								X
00000010							X	
00000100						X		
00001000					X			

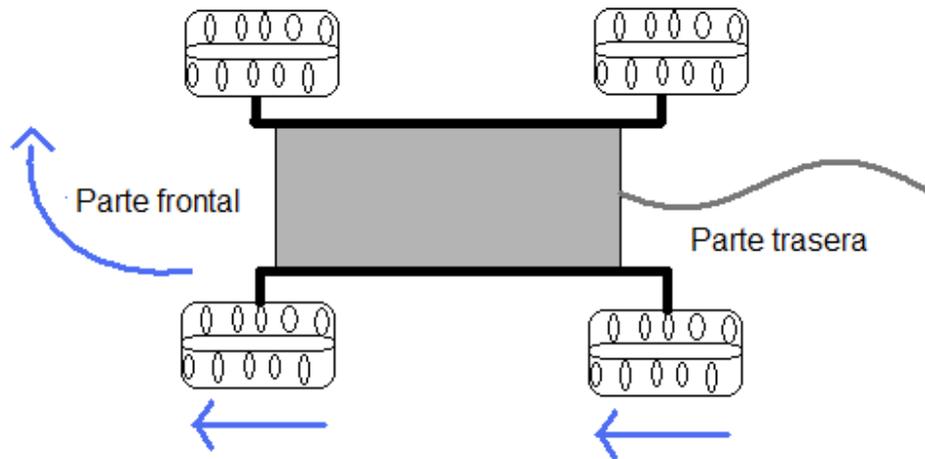


Figura 25. Giro a la derecha.

Para desplazar el vehículo hacia el lado izquierdo, se usan los motores A y A', se realiza el procedimiento anterior pero con la secuencia en reversa como lo indica la Tabla 4.4 y la Figura 26.

Tabla 4.4. Valores para giro a la izquierda con motores A y A'

Número binario	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	b	a	d	c	B	a
00001000					X			
00000100						X		
00000010							X	
00000001								X

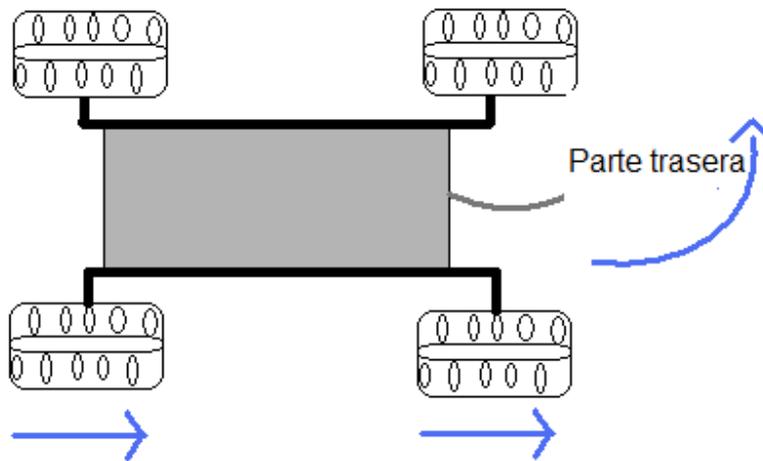


Figura 26. Giro a la derecha atrás.

La secuencia de giro a la izquierda se realiza enviando datos sólo a los motores del lado opuesto, es decir los motores del lado derecho, (ver Tabla 4.5 y Figura 27).

Tabla 4.5. Valores para giro a la izquierda

Número	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	B	a	d	c	b	a
00010000				X				
00100000			X					
01000000		X						
10000000	X							

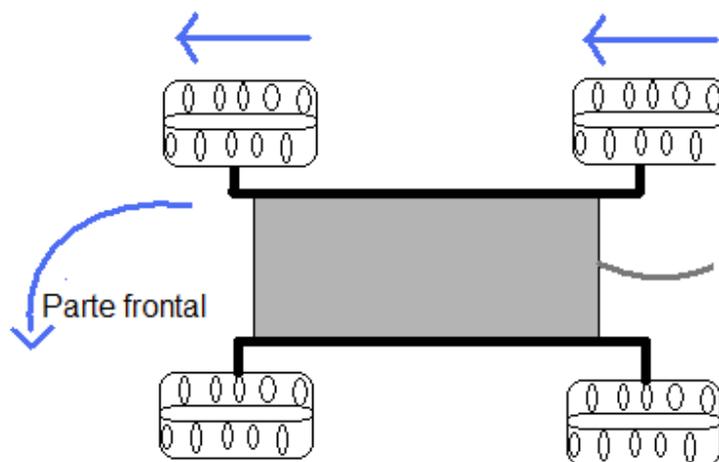


Figura 28. Giro a la izquierda.

Para desplazar el vehículo hacia el lado derecho usando los motores B y B` se realiza el procedimiento anterior pero con la secuencia en reversa como lo indica la Tabla 4.6 y Figura 28.

Tabla 4.6. Valores para giro a la derecha con motores B y B`

Número	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	B	a	d	c	b	a
10000000	X							
01000000		X						
00100000			X					
00010000				X				

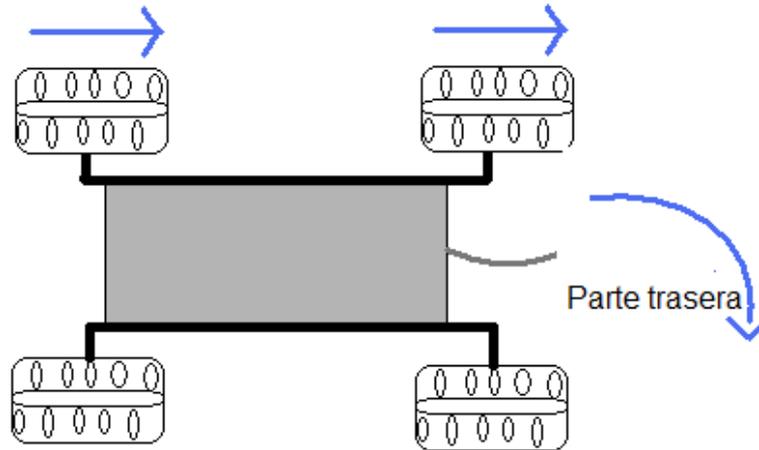


Figura 29. Giro a la izquierda atrás.

Para desplazar el vehículo hacia adelante, se envían pulsos a los cuatro motores, (ver Tabla 4.7 y Figura 30).

Tabla 4.7. Valores para avanzar con ambos motores

Número	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	C	B	a	d	c	b	a
00010001				X				X
00100010			X				X	
01000100		X				X		
10001000	X				X			

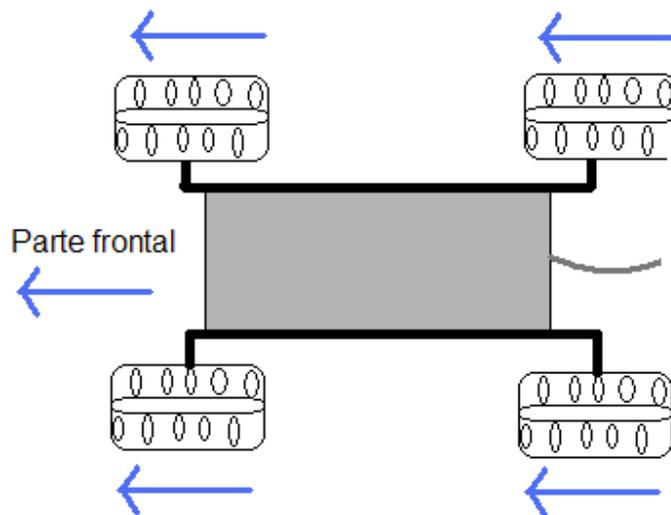


Figura 30. Avanzar con ambos motores.

Para que el vehículo retroceda se realiza de la misma forma que la Tabla 3.7 pero los valores en orden contrario como se muestra en la Tabla 4.8 y Figura 31.

Tabla 4.8. Valores para retroceder ambos motores

Número	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	B	a	D	c	b	a
10001000	X				X			
01000100		X				X		
00100010			X				X	
00010001				X				X

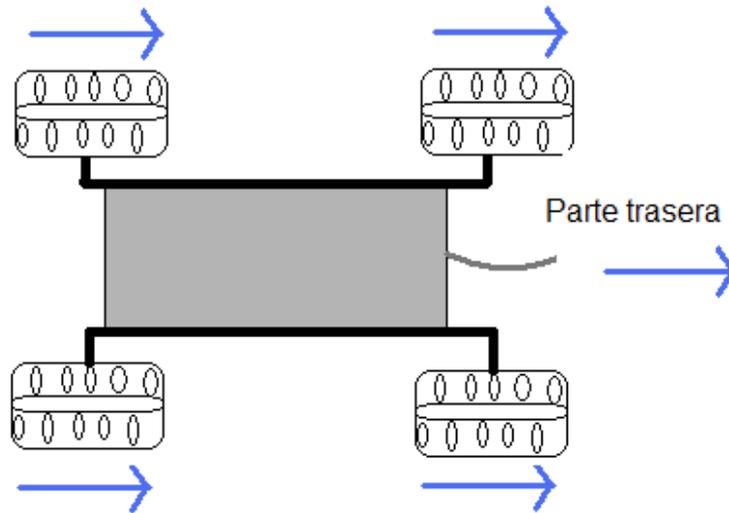


Figura 31. Retroceder con ambos motores

4.5.2 Secuencias de torque de 8 pasos

Las tablas 3.9 - 3.14 realizan los mismos movimientos que las tablas 3.3 - 3.8 con la diferencia de que manejan 8 secuencias de números binarios para un giro de la llanta con pasos intermedios entre bobinas. La secuencia de giro a la derecha se realiza enviando datos sólo a los motores del lado opuesto, es decir, a los motores del lado izquierdo del vehículo, (ver la Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Valores para giro a la derecha.

Número binario	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	b	a	d	c	b	a
00000001								X
00000011							X	X
00000010							X	
00000110						X	X	
00000100						X		
00001100					X	X		
00001000					X			
00001001					X			X

Para desplazar el vehículo hacia el lado izquierdo, se usan los motores A y A', se realiza el procedimiento de la Tabla 4.9 pero con la secuencia en reversa (ver Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Valores para giro a la izquierda con motores A y A'

Número	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	b	a	d	c	b	a
00000001					X			X
00000011					X			
00000010					X	X		
00000110						X		
00000100						X	X	
00001100							X	
00001000							X	X
00001001								X

La secuencia de giro a la izquierda se realiza enviando datos sólo a los motores del lado opuesto, es decir los motores del lado derecho, (ver Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Valores para giro a la izquierda

Número	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	b	a	D	c	b	a
00010000				X				
00110000			X	X				
00100000			X					
01100000		X	X					
01000000		X						
11000000	X	X						
10000000	X							
10010000	X			X				

Para desplazar el vehículo hacia el lado derecho usando los motores B y B' se realiza el procedimiento de la Tabla 4.11 pero con la secuencia en reversa (ver Tabla 4.12).

Tabla 4.12. Valores para giro a la derecha con motores B y B'

Número binario	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	c	b	a	D	c	b	a
10000000	X							
11000000	X	X						
01000000		X						
01100000		X	X					
00100000			X					
00110000			X	X				
00010000				X				
10010000	X			X				

Para desplazar el vehículo hacia adelante, se envían pulsos a los cuatro motores, (ver Tabla 4.13).

Tabla 4.13. Valores para avanzar ambos motores

Número binario	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	C	b	a	d	c	b	a
00010001				X				X
00110011			X	X			X	X
00100010			X				X	
01100110		X	X			X	X	
01000100		X				X		
11001100	X	X			X	X		
10001000	X				X			
10011001	X			X	X			X

Para que el vehículo retroceda se realiza de la misma forma que la Tabla 3.7 pero los valores en orden contrario como se muestra en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Valores para retroceder ambos motores

Número binario	Motores B y B'(derecho)				Motores A y A'(izquierdo)			
	d	C	b	a	d	c	b	a
10001000	X				X			
11001100	X	X			X	X		
01000100		X				X		
01101100		X	X			X	X	
00100100			X				X	
00110011			X	X			X	X
00010001				X				X
10011001	X			X	X			X

Capítulo 5. Resultados

En esta etapa se realizan tres tipos de pruebas: de precisión en distancia, velocidad y movimientos. De esta forma se observa el comportamiento del vehículo y en el caso de existir alguna anomalía se corrige o bien se calibra el vehículo.

5.1. Pruebas y resultados de precisión de distancia

Este tipo de pruebas son para ver cuál es la precisión y rangos de los desplazamientos del vehículo. Para la realización de esta prueba primero se requiere medir el perímetro de la rueda de tracción colocada, el cual es de 25.0 cm, esto significa que la rueda al dar una vuelta completa se desplaza una distancia de 25.0 cm ya sea hacia adelante o hacia atrás (ver Figura 32).

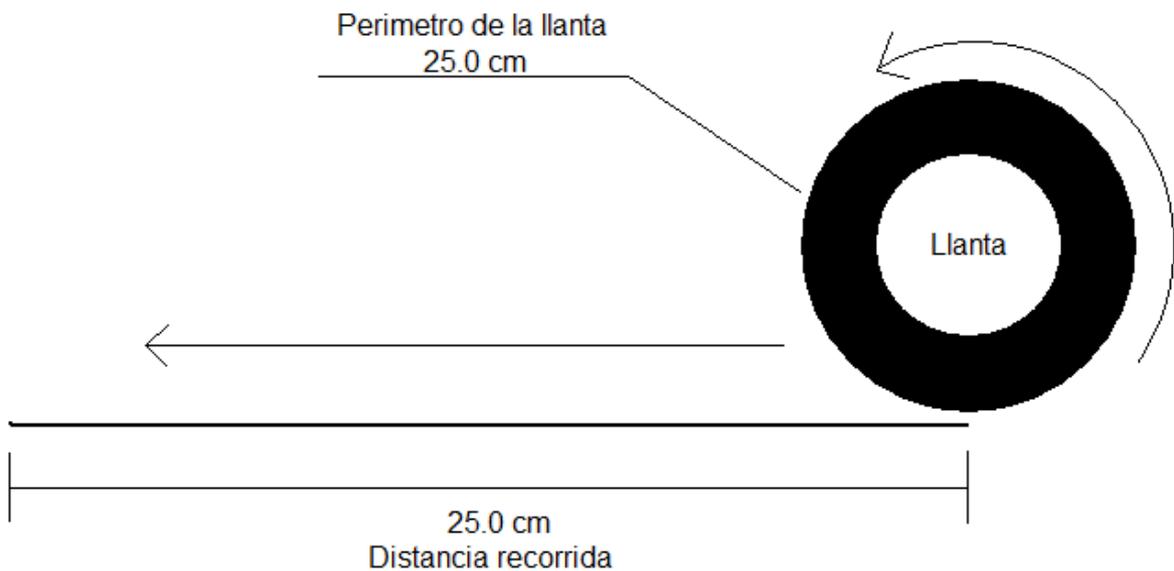


Figura 32. Perímetro de la llanta y su desplazamiento

Por otra parte, es importante saber cuántos son los pasos requiere el rotor del motor PaP para dar una vuelta completa. Anteriormente se mencionó la secuencia para generar un recorrido por las bobinas del motor PaP ¿????REVISAR LA REDACCIÓN DE ESTE ENUNCIADO, se requiere de un determinado número de vueltas para que el rotor de una vuelta (12).De esta forma puede decirse que:

12 vueltas por bobinas = 1 vuelta del rotor

1 vuelta del rotor = 1 vuelta de la llanta de tracción

1 vuelta de la llanta de tracción = 25.0 cm

Para la obtención de estos resultados, se requiere que el código fuente correspondiente al control del vehículo contenga el envío de las secuencias de bits mencionadas en el capítulo anterior una vez implementadas estas secuencias y rutinas de movimiento en el código se obtuvieron los siguientes resultados:

Los siguientes resultados se obtuvieron con tracción en las 4 ruedas del vehículo, es decir, activando los cuatro motores de las ruedas al mismo tiempo (ver Figura 33), también aplicando en la programación distancias de 1mts, 10cm y 2 cm. ¿????AQUÍ SON CENTÍMETROS?

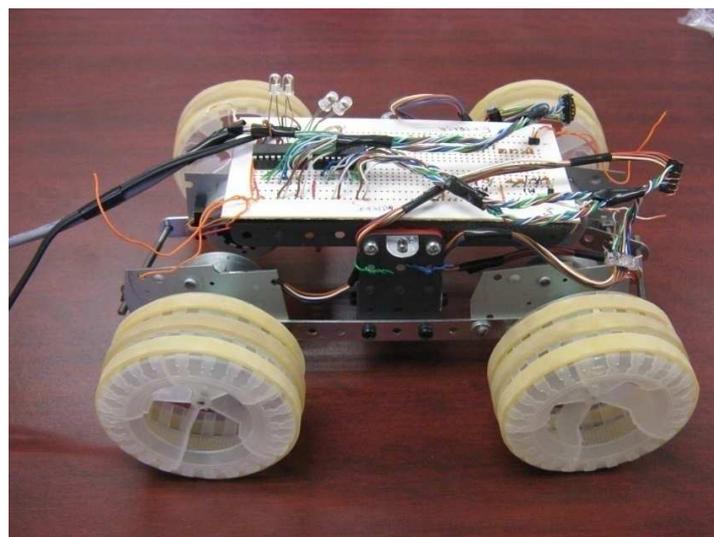


Figura 33. Tracción en las cuatro ruedas

Se realizaron 5 pruebas principales para la rutina de avanzar en la cual se recorre una distancia de 1 metro y se obtuvieron los resultados de correspondientes a las Tablas 5.1, 5.2 y 5.3.

Tabla 5.1. Resultados de prueba de distancia 1mts (avanzar)

No. De prueba	Distancia a recorrer en mts	Resultado del movimiento en mts
1	1	1
2	1	0.99
3	1	1
4	1	1
5	1	1.1

Tabla 5.2. Resultados de prueba de distancia 10cm (avanzar)

No. De prueba	Distancia a recorrer en cm	Resultado del movimiento en cm
1	10	10
2	10	9.7
3	10	10
4	10	10.2
5	10	10

Tabla 5.3. Resultados de prueba de distancia 2cm (avanzar)

No. De prueba	Distancia a recorrer en cm	Resultado del movimiento en cm
1	2	1.7
2	2	2
3	2	2
4	2	2.2
5	2	2

Se realizaron 5 pruebas principales para la rutina de retroceder en la cual se recorre una distancia de 1 metro y se obtuvieron los resultados de correspondientes a las Tablas 5.4, 5.5 y 5.6.

Tabla 5.4. Resultados de prueba de distancia (retroceder)

No. De prueba	Distancia en mts	Resultado en mts
1	1	0.99
2	1	0.99
3	1	1.1
4	1	1
5	1	1

Tabla 5.5. Resultados de prueba de distancia 10cm (avanzar)

No. De prueba	Distancia a recorrer en cm	Resultado del movimiento en cm
1	10	9.7
2	10	9.8
3	10	10
4	10	10
5	10	10

Tabla 5.6. Resultados de prueba de distancia 2cm (avanzar)

No. De prueba	Distancia a recorrer en cm	Resultado del movimiento en cm
1	2	2
2	2	2
3	2	2.5
4	2	2
5	2	1.7

Se realizaron 5 pruebas principales con las rutinas de avanzar y posteriormente retroceder, esto para ver con que exactitud regresa a su punto de origen el vehículo, también se realiza con una distancia de 1 metro y se obtuvieron los resultados de correspondientes a las Tablas 5.7, 5.8 y 5.9.

Tabla 5.7. Resultados de prueba de distancia avanzar y retroceder o regresar al punto de origen

No. De prueba	Distancia en mts	Regreso al origen		Distancia recorrida hacia el punto de origen (para resultado No)
		Si	No	
1	1	X		
2	1		X	0.99
3	1	X		
4	1	X		
5	1	X		

Tabla 5.8. Resultados de prueba de distancia avanzar y retroceder o regresar al punto de origen

No. De prueba	Distancia en cm	Regreso al origen		Distancia recorrida hacia el punto de origen (para resultado No)
		Si	No	
1	1		X	8
2	1		X	9
3	1	X		
4	1	X		
5	1	X		

Tabla 5.9. Resultados de prueba de distancia avanzar y retroceder o regresar al punto de origen

No. De prueba	Distancia en cm	Regreso al origen		Distancia recorrida hacia el punto de origen (para resultado No)
		Si	No	
1	1		X	1.5
2	1	X		
3	1	X		
4	1		X	1.8
5	1	X		

5.2. Pruebas y resultados de velocidad o frecuencia

Este tipo de pruebas es para identificar cuáles son las velocidades máximas y mínimas que soporta el vehículo para realizar algún movimiento, es importante mencionar las velocidades cambian su valor al establecido por fábrica y esto se debe a diversos factores que se mencionan más adelante.

Para esta prueba se le va a nombrar las secuencias de bobinas como en la Tabla 5.10.

Tabla 5.10. Nombres asignados a las secuencias de bobina del motor PaP

Tipo de secuencias	Nombre
Normal	Torque 1
Wave drive	Torque 2
Medio paso	Torque 3

También se están empleando tres velocidades las cuales se aplican mediante el código fuente del control de motores para ello se genera un tiempo de espera en milisegundos, entre cada cambio de bobina las velocidades quedan como en la Tabla 5.11.

Tabla 5.11. Valores de velocidades

Tiempo de demora (ms)	Velocidad
100	1
500	2
1000	3

Para esta prueba se realizaron movimientos con la rutina avanzar y retroceder, haciendo combinación de los distintos torques y velocidades. Los resultados se presentan en la Tabla 5.12.

Tabla 5.12. Resultados de pruebas de velocidad

Torque	Velocidad	Se realizo el movimiento		
		Si	No	Se fuerza
1	1	X		
1	2	X		
1	3	X		
2	1	X		
2	2	X		
2	3			X
3	1		X	
3	2			X
3	3			X

5.3. Pruebas y resultados de giros o vuelta

Este tipo de pruebas es para identificar y medir el tipo de giros que nos permite realizar, de esta forma se puede saber qué tipo de vueltas o giros puede realizar el vehículo en ciertas circunstancias. Se realizaron 5 pruebas para la rutina gira a la derecha las cuales se muestran los resultados en la siguiente Tabla 5.13.

Tabla 5.13. Resultados de pruebas de giro a la derecha

No. De prueba	Rutina	Se realizo el movimiento		
		Si	No	Observación
1	Derecha		X	El giro fue mínimo
2	Derecha		X	El giro requirió de mayor desplazamiento
3	Derecha		X	Se barre al momento de girar
4	Derecha		X	Se desplaza a la derecha pero no gira
5	Derecha		X	El giro a la derecha no es el deseado

Se realizaron 5 pruebas para la rutina gira a la izquierda como muestra la Tabla 5.14.

Tabla 5.14. Resultados de pruebas de giro a la izquierda

No. De prueba	Rutina	Se realizo el movimiento		
		Si	No	Observación
1	Izquierda		X	Nunca giro
2	Izquierda		X	El giro fue mínimo
3	Izquierda		X	No gira correctamente
4	Izquierda		X	El ángulo de giro es mínimo
5	Izquierda		X	Se desplaza demasiado y el giro es mínimo

Los resultados de estas pruebas no fueron favorables, por lo cual se procedió a tomar acciones correctivas y su efecto sobre el movimiento, las cuales se mencionan en la Tabla 5.15

Tabla 5.15. Acciones correctivas para rutinas de giros

Acción correctiva	Resultado
Reprogramación de rutinas de movimientos	No funciona (no optima)
Cambio de torque en motores	El giro fue mínimo (no optima)
Cambio de velocidad en motores	El giro fue mínimo (no optima)
Cambio de sentido de giro de motores	No funciona (no optima)
Implementación de una dirección mecánica para giro de las llantas delanteras	Giro correctamente (optima)

5.3.1. Acción correctiva óptima

Se implementó una dirección mecánica al vehículo como acción correctiva a los giros porque el vehículo no presentó buenos resultados en las pruebas. La dirección mecánica es un mecanismo el cual permite que las llantas delanteras del vehículo puedan girar, con una libertad establecida de giro a la izquierda o derecha, se establece el ángulo máximo y mínimo de giro.

Para que la dirección mecánica pueda girar, se requirió de otro motor PaP, el cual se encarga solamente de hacer giros cortos a la izquierda y a la derecha para desplazar la barra que gira las llantas. Por otra parte, también el vehículo paso a ser de tracción trasera por la implementación de la dirección mecánica, esto se realizó porque se requiere que los motores sean más ligeros para que la dirección no se habrá (ver Figura 34), ya que esto genera que el giro no sea el adecuado.

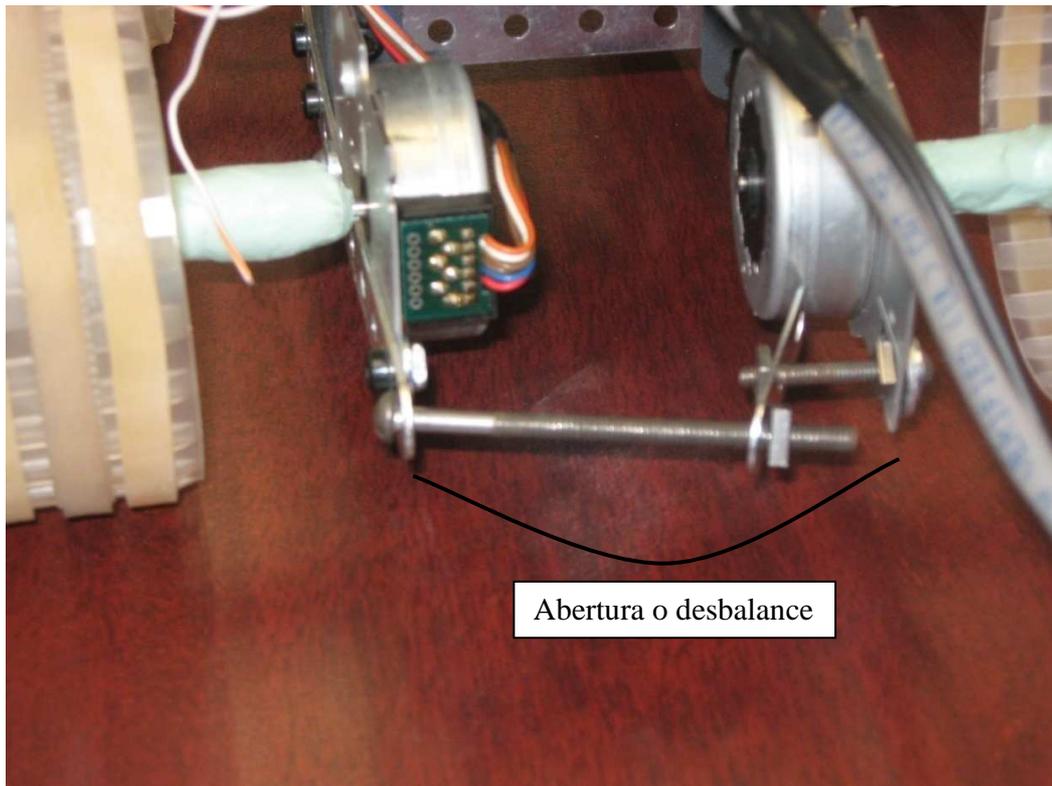


Figura 34. Abertura o desbalance de las llantas por el peso de los motores

La dirección mecánica implementada (ver Figura 35) requirió de pruebas para ajustar las barras de dirección y observar cuáles son los giros permitidos para establecerlos como rutina, los resultados de estas pruebas se muestran en las Tablas 5.16. y 5.17.

Tabla 5.16. Resultados de rutina de giro a la derecha con dirección mecánica

Rutina de giro	Resultado		
	Si	No	Observación
Derecha 90 grados	X		Correcto
Derecha 90 grados	X		Disparejo
Derecha 90 grados	X		Correcto
Derecha 90 grados	X		Correcto
Derecha 90 grados	X		Disparejo
Derecha 45 grados	X		Disparejo

Derecha 45 grados	X		Correcto
Derecha 45 grados	X		Correcto
Derecha 45 grados	X		Correcto
Derecha 45 grados	X		Disparejo

Tabla 5.17. Resultados de rutina de giro a la izquierda con dirección mecánica

Rutina de giro	Resultado		
	Si	No	Observación
Izquierda 90 grados	X		Disparejo
Izquierda 90 grados	X		Correcto
Izquierda 90 grados	X		Correcto
Izquierda 90 grados	X		Correcto
Izquierda 90 grados	X		Disparejo
Izquierda 45 grados	X		Correcto
Izquierda 45 grados	X		Disparejo
Izquierda 45 grados	X		Correcto
Izquierda 45 grados	X		Correcto
Izquierda 45 grados	X		Correcto

Otro punto importante de mencionar es que el vehículo para realizar algún giro, éste primero gira las llantas y después se desplaza, por lo cual las rutinas de giro requieren de un giro del motor de dirección, posteriormente un desplazamiento o giro de los motores de las llantas traseras y finalmente otro giro de motor de dirección para restablecer la dirección a modo neutral o hacia enfrente del vehículo (ver Figuras 35, 36 y 37).

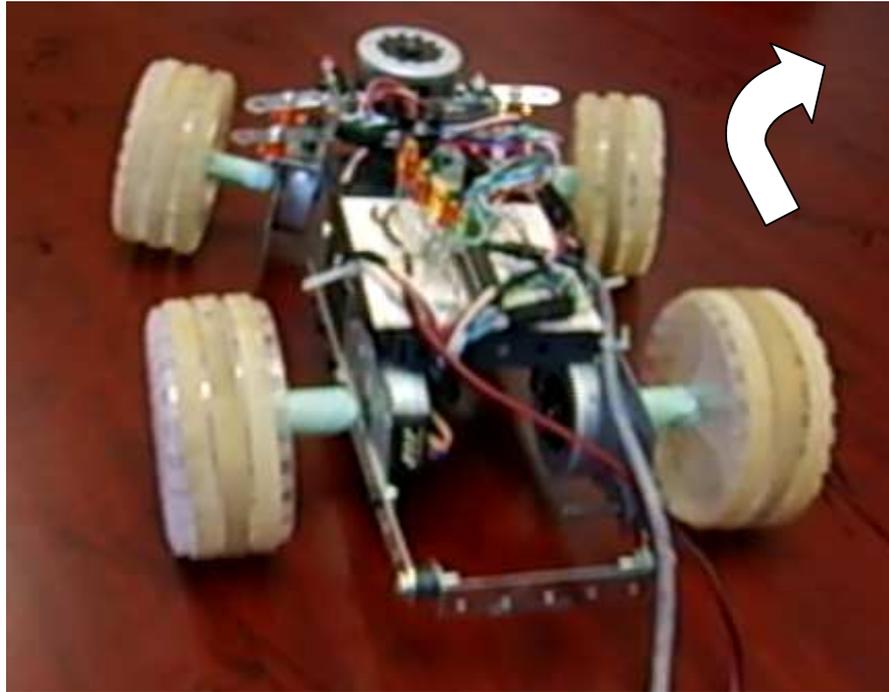


Figura 35. Giro de llantas delanteras.

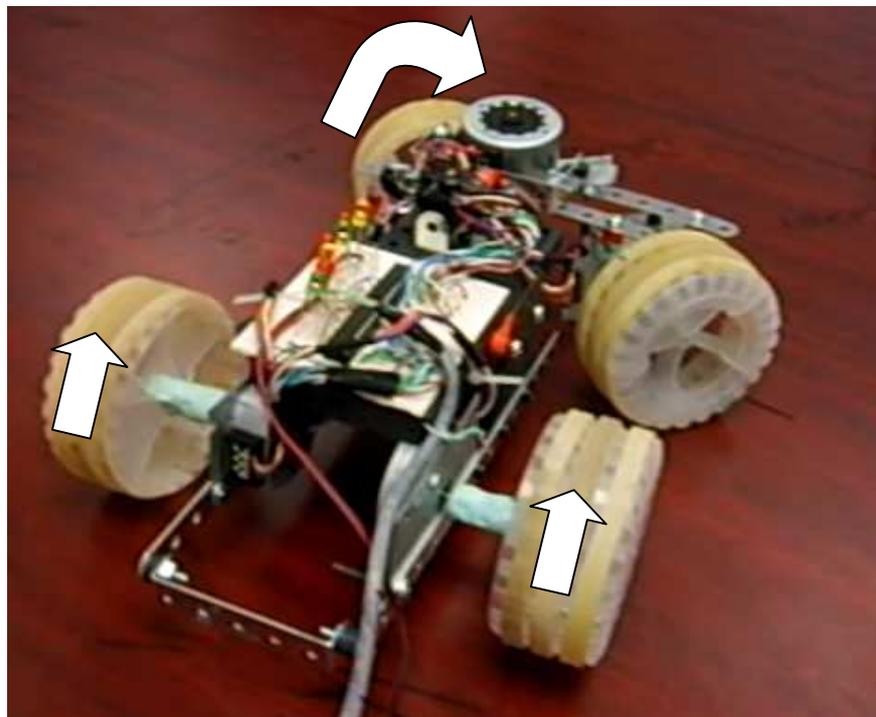


Figura 35. Se desplaza con las llantas traseras mientras las delanteras tienen un ángulo de giro.

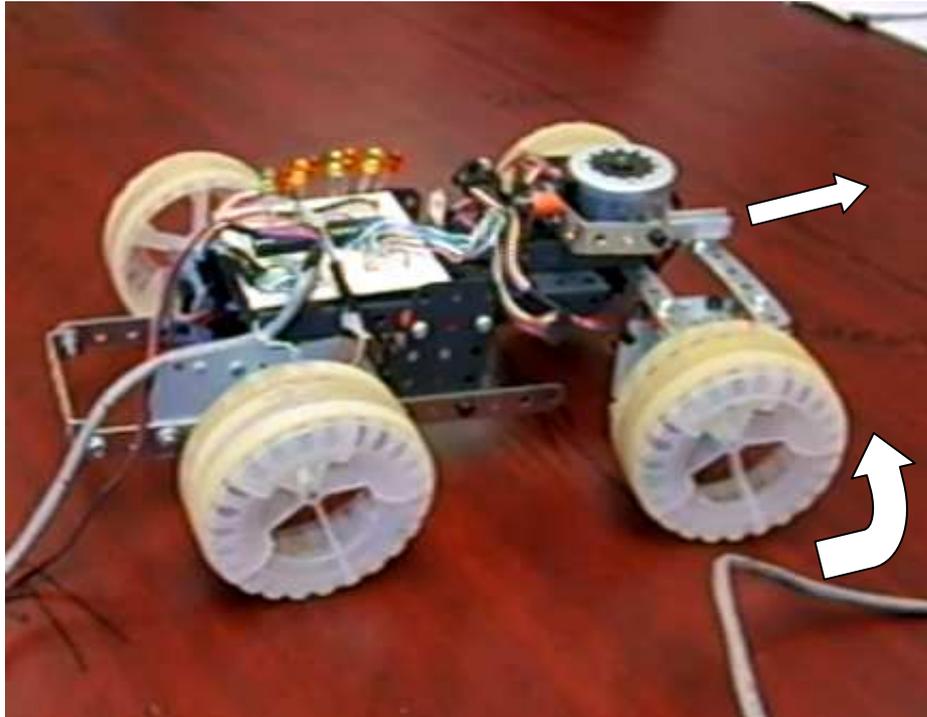


Figura 37. Giro de llantas delanteras en sentido contrario para restablecer en punto neutral.

Capítulo 5. Conclusiones y trabajo a futuro

Se desarrolló satisfactoriamente el proyecto, el cual empleó componentes electrónicos, puertos de comunicación y programación en lenguaje C. En este proyecto se logró la construcción de un vehículo el cual es capaz de realizar movimientos básicos como avanzar, retroceder, girar a la derecha y girar a la izquierda.

Empleando la programación del lenguaje C, se diseñaron rutinas para los movimientos básicos, las cuales son enviadas como señales por el puerto paralelo para ser recibidas por la interfaz de comunicación (hardware), la cual amplifica las señales recibidas para posteriormente distribuir las en los motores del vehículo y realizar la acción solicitada.

Es importante mencionar que se presentaron diversos problemas durante el desarrollo del proyecto como los siguientes: ¿????????? DECIR AQUÍ CÒMO SE SOLUCIONARON, SERÍA MEJOR SI ESCRIBIERAS EN FORMA DE PÁRRAFO, NO CON VIÑETAS.

- Envío erróneo de señales.
- Mal comportamiento de motores PaP
- Caída de voltaje en los motores PaP
- Cortos circuitos
- Pérdida de comunicación con el vehículo
- Envío de señales por el puerto
- Rutinas erróneas
- Diseños complejos de estructura
- Realización de giros

Pero también estos fueron resueltos para lograr el funcionamiento óptimo ¿???? ÒPTIMO ME PARECE MUY AMBICIOSO, POR QUÈ OTRA PARABRA PODRÌA CAMBIARSE?, el último punto de la lista anterior se considera como el más importante ya que generó la implementación de un sistema de dirección mecánica. Este sistema de dirección mecánica no estaba previsto, pero al implementarlo se realizaron grandes cambios en el proyecto como el uso de otro motor PaP para controlar la dirección mecánica, con ello el vehículo construido cuenta con tracción trasera porque el peso de los motores del eje delantero generaba que se desalinearan las llantas.

Como trabajo a futuro, se realizarán las etapas posteriores del proyecto general, (ver Figura 1). Simultáneamente, se implementará también un sistema de tracción total en las cuatro llantas, así como mejoras en el chasis según se requiera.

Referencias bibliográficas

[1] Asimov Isaac, "Robótica", <http://www.yorobot.com/in.php?doc=343>

[2] Bose, Bimal K. Modern power electronics and AC drivers, Estados Unidos: Prentice-Hall, c2002.

[3] Hwang, Kai, Arquitectura de computadoras y procesamiento paralelo, Madrid: McGraw-Hill c1988.

[4] Pitas Ioannis, Parallel algorithms for digital image processing, computer vision and networks, John Wiley & Sons, c1993.

[5] Nell Dale, Chip Weems. Programación y resolución de problemas con C++, McGraw-Hill, c2007.

[6] Niku B. Saeed, "Introduction to Robotics Analysis, Systems, Applications ", Edit. Prentice Hall, c2001.

[7] Seguimiento de rutas en un ambiente conocido para robots de tipo lego utilizando un control odométrico. Cristian Moreno. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Tesis de licenciatura. 2006.

[8] Torres Fernando, Pomares Jorge, Gil Pablo, Puente Santiago T., y Aracil Rafael, "Robots y Sistemas Sensoriales", Edit. Pearson Educación, Madrid c2002,

[10] http://focuslab.lfp.uba.ar/public/Electronica/Informes/Final_Bosyk-Martinez-MHeimann.PDF ¿????COMPLETAR LA REFERENCIA.

[11] <http://www.micropap.com/documentacion%20centro/teoria%20motor%20paso%20a%20paso%20Steve%20Jennings.pdf> ¿????COMPLETAR LA REFERENCIA.

[12] <http://www.beyondlogic.org/spp/parallel.htm> ¿????COMPLETAR LA REFERENCIA.

[13] Técnicas de programación, Cap.32.2 Ed. McGraw Hill

[14] http://www.ing.unlp.edu.ar/islyd/Lab_conversores.htm ¿????COMPLETAR LA REFERENCIA.

[15] CONTROL DEL PUERTO PARALELO: ¿???? NO EMPLEAR MAYÚSCULAS, INICIAR CON EL APELLIDO DEL AUTOR

CONTROL EN APLICACIONES DE ELECTRÓNICA - PARTE 1, Ing. José Luís Ola García, Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

[16] <http://es.wikipedia.org/wiki/Cable-Paralelo> ¿????COMPLETAR LA REFERENCIA.

[17] http://es.wikipedia.org/wiki/Comunicacion_inalambrica ¿????COMPLETAR LA REFERENCIA.

[18] <http://es.wikipedia.org/wiki/Computadora> ¿????COMPLETAR LA REFERENCIA.

[19] Brazo robot con motores PaP de unidades de disquete, Universidad Politécnica de Puebla, (no formalmente documentado).

[20] Diseño de un brazo robot controlado por el puerto paralelo, Grupo GDEA

Afiliación: Facultad de Ciencias de la Electrónica, ¿????AÑO?, ¿????COMPLETAR LA REFERENCIA.

[21] G.M. Bosyk, A.R. Martínez y D. Martínez Heimann, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires – Argentina

