

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE CIENCIAS



**Diseño y Construcción de un Microbot
Seguidor de Línea**



TESIS PROFESIONAL
para obtener el título de
Ingeniero en Electrónica

PRESENTA

Ernesto Homar Teniente Avilés

ASESORES DE TESIS

L.E.S.D. Gerardo Gabriel López Rocha
Dr. Manuel Mirabal García

San Luis Potosí, S.L.P., Septiembre de 2004

EX LIBRIS



SISTEMA DE
BIBLIOTECAS

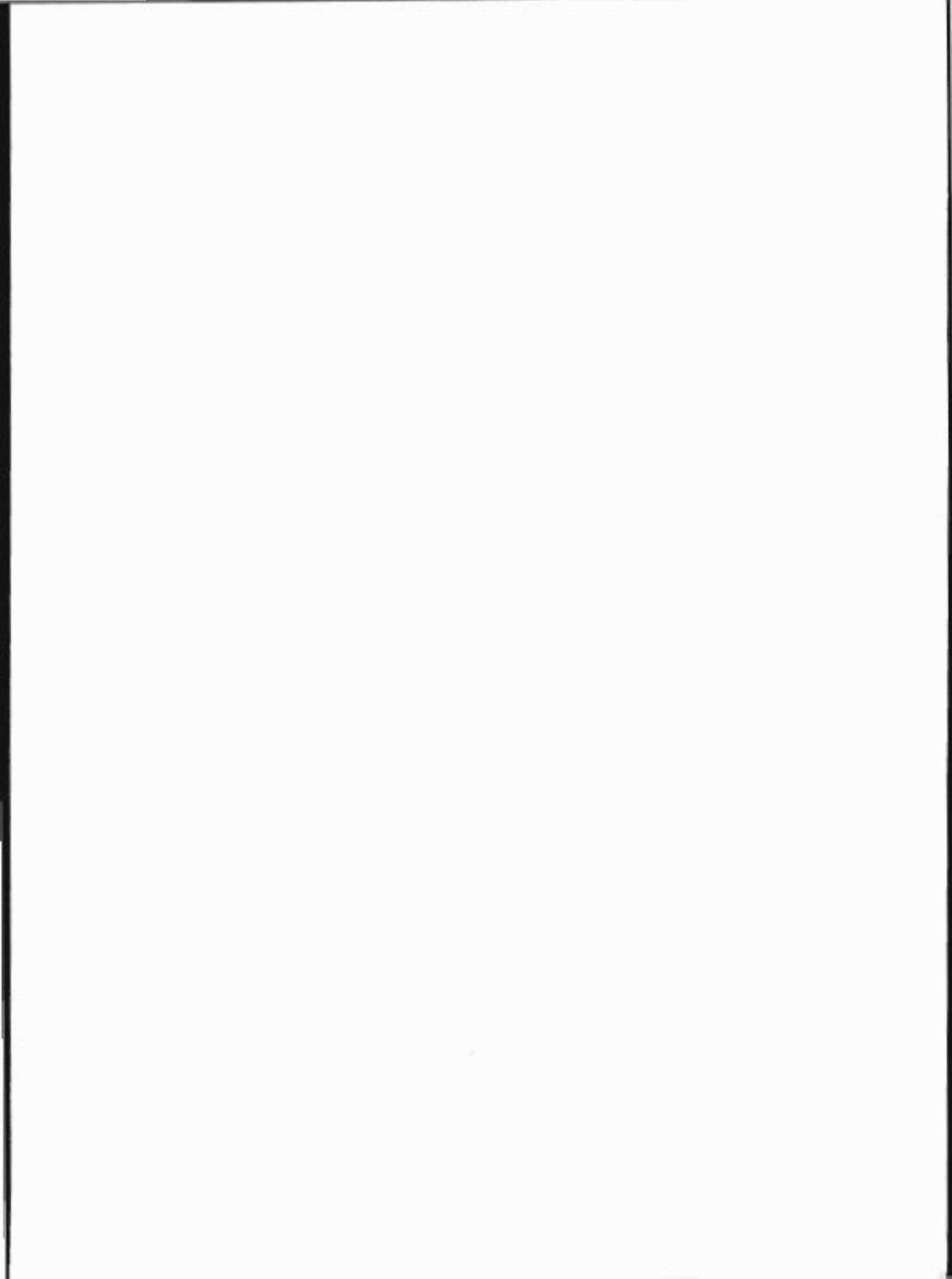
U.A.S.L.P.

No. DE REG.

FM11821

*TEL
T405
2004*

A mis padres,
quienes siempre
me han apoyado.



Agradecimientos

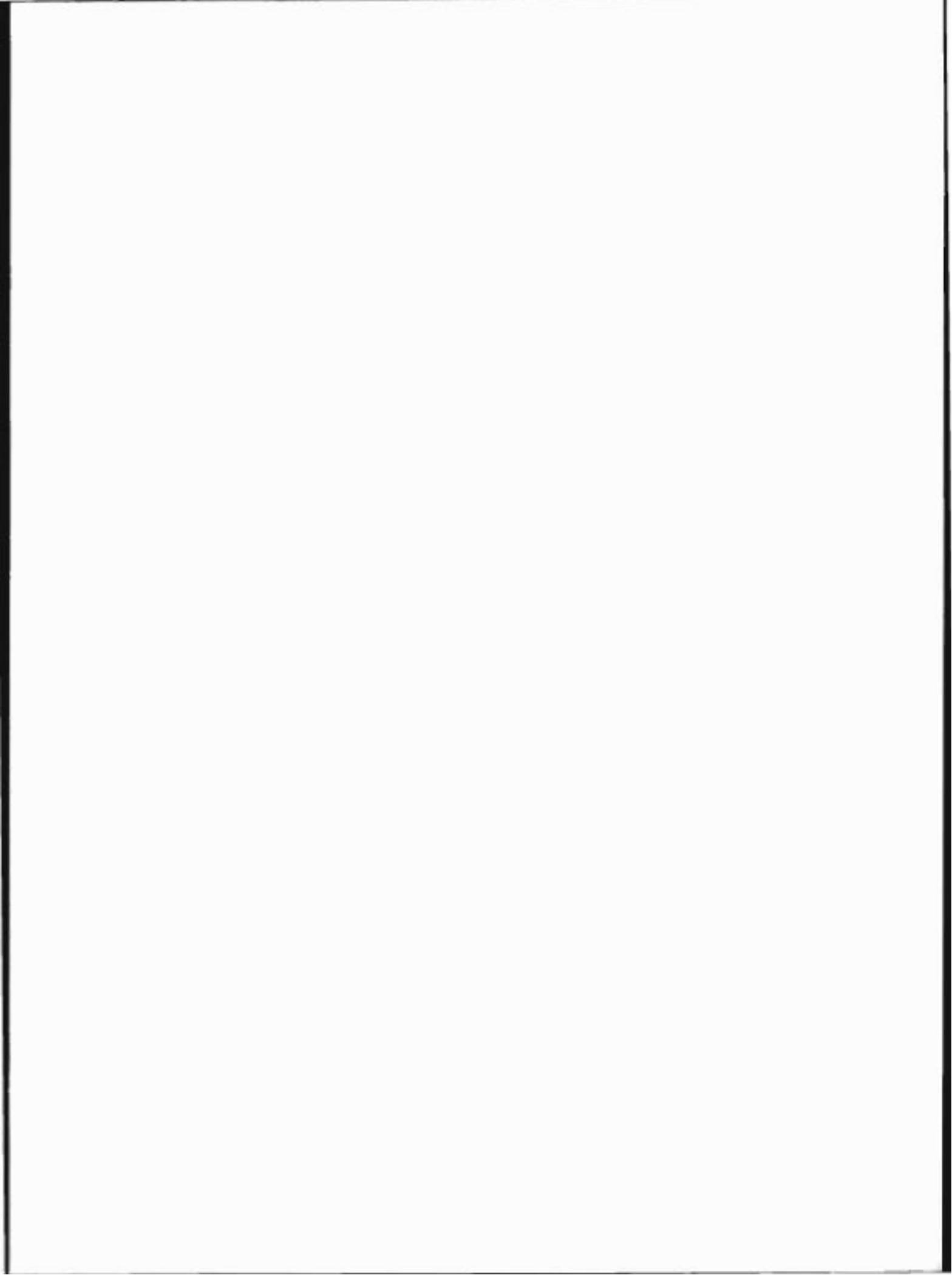
Agradecimiento especial a mis asesores de tesis L.E.S.D. Gerardo Gabriel López Rocha y al Dr. Manuel Mirabal García por su ayuda, asesoramiento y facilidades prestadas para sacar adelante este trabajo de tesis.

Agradezco al Instituto de Física en la persona del Dr. Pedro Villaseñor González director del Instituto de Física "Dr. Manuel Sandoval Vallarta", por las facilidades brindadas en el uso de las instalaciones.

A la Facultad de Ciencias, a los profesores que compartieron su conocimiento, a lo largo de la carrera (Griselda Pedroza, José Ángel Barbosa, Isaac Campos, José de Jesús Ahumada, Daniel Campos, Benito Pineda, Gustavo Pérez, Gonzalo Hernández, Silvia Sermeño, Alejandro Ochoa, Gerardo Ortega, Felipe Rábago y Manuel Acuña). Y también al personal administrativo.

Agradezco a mis padres, hermanas, hermano, mi padrino Carlos, mi tía Yazmín, mis abuelitas y abuelito, por el apoyo que me brindaron a lo largo de mi carrera universitaria y durante la realización de esta tesis; así como a mis tíos, tías y demás familia.

También quiero agradecer a Luis Antonio Gómez, Emmanuel Navarro, Carlos Soubervielle, Carlos R., Pamela Esparza, Víctor Osuna, a mis compañeros, amigas y amigos.



Índice

Resumen	.....	i
Antecedentes	.....	iii
Introducción	.....	vii
Capítulo 1. Fundamentos Teóricos	.....	1
○ 1.1 El microcontrolador	.....	1
○ 1.1.1 Estructura de un microcontrolador	.....	1
○ 1.2 El microcontrolador PIC16F84A	.....	3
○ 1.2.1 Características del PIC16F84A	.....	4
○ 1.2.2 Arquitectura básica del PIC16F84A	.....	5
○ 1.2.3 Registros de uso Especifico	.....	7
○ 1.2.4 Sumario de instrucciones	.....	8
○ 1.3 Motores de corriente directa (CD)	.....	10
○ 1.4 Sistema reductor de velocidad	.....	11
○ 1.5 Diferencial tipo tanque	.....	11
○ 1.6 Sensores de reflexión óptica	.....	12
Capítulo 2. Diseño y Construcción del Microbot	.....	15
○ 2.1 Objetivos y tareas a desarrollar	.....	15
○ 2.2 Selección y utilización de elementos	.....	16
○ 2.2.1 Microcontrolador PIC16F84A	.....	16
○ 2.2.2 Sensor optoelectrónico CNY70	.....	17
○ 2.2.3 Controlador de motores L293B	.....	17
○ 2.2.4 Motor de CD con reductor de velocidad	.....	18

o 2.3 Descripción de los módulos	21
o 2.3.1 Módulo de control	21
o 2.3.2 Módulo de sensores	23
o 2.3.3 Módulo de potencia	24
o 2.3.4 Esquemas de las tarjetas	26
o 2.4 Construcción de la plataforma y sistema de control de dirección.	28
o 2.5 Programación.	30
o 2.5.1 Estructura del programa	30
o 2.5.2 Programa del seguidor de línea (DEEPLINE)	31
Capítulo 3. Resultados	35
o 3.1 Discusión y análisis de resultados	35
o 3.2 Caracterización y prueba del microbot	37
o 3.3 Observaciones y recomendaciones	39
o 3.4 Página Web	39
Conclusiones	41
Bibliografía	43
Apéndice A	47
Apéndice B	48
Apéndice C	50

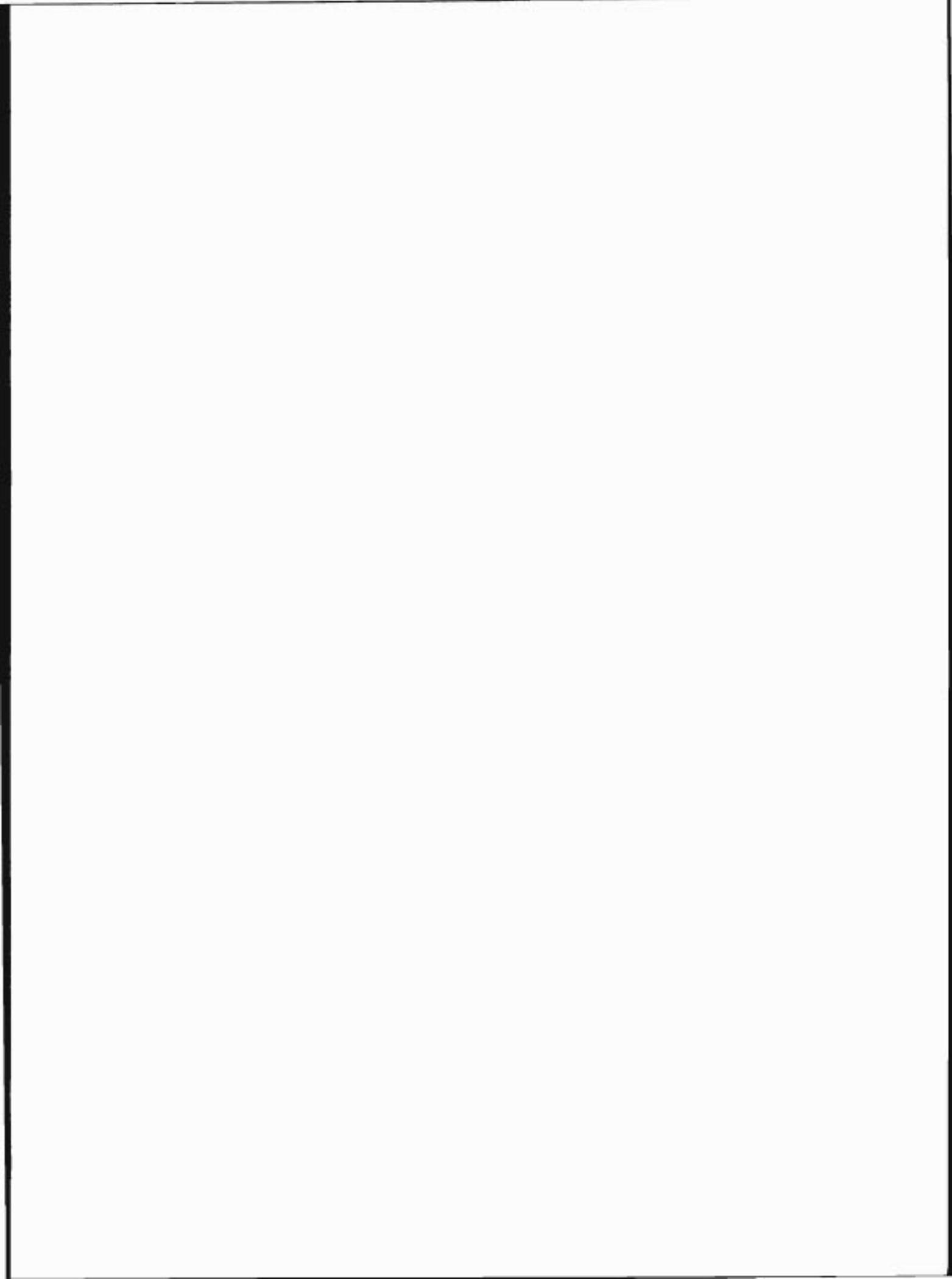
Resumen

En esta tesis se describe el desarrollo del diseño y construcción de un microbot, el cual está programado para rastrear y seguir una línea blanca trazada sobre una superficie negra. El desarrollo de este proyecto experimental está basado en la aplicación de la teoría básica de los microcontroladores. En este caso en particular se aplica el PIC16F84A, éste opera a 4 MHz, desempeñándose como cerebro del microbot y procesando las señales de los sensores optoelectrónicos infrarrojos utilizados. A la vez controla el sistema motriz "tipo tanque" provisto de dos motores de corriente continua, con cajas reductoras de velocidad embebidas las cuales proveen el torque necesario para mover el peso del robot.

El robot cuenta con una tarjeta de grabación para el microcontrolador, la cual es parte de la tarjeta de control; ésta tarjeta se conecta mediante un cable plano de 26 líneas con las etapas de potencia y sensores. La etapa de potencia contiene un circuito integrado empleado para el manejo de motores de corriente directa.

Este robot fue concebido para ser montado sobre un chasis, el cual cuenta con tres puntos de apoyo; i.e., el mínimo necesario para tener una buena estabilidad, desplazándose mediante dos ruedas y un postre trasero con un punto de contacto esférico que se desliza sobre la superficie de contacto.

El proyecto incluye un CD con una página HTML para la *web*, la cual expone el contenido de la tesis a través de sus páginas, con la finalidad de estimular el estudio y desarrollo de la robótica en nuestra universidad, así como proponer la divulgación de tesis por este medio electrónico y facilitar la consulta de la información contenida en éstas desde la comodidad del *internet*.



Antecedentes

A través de la historia la tecnología de cada época ha influido poderosamente en la vida cotidiana de sus sociedades. Los productos y la ocupación han sido dictados por la tecnología disponible. Por ejemplo, en la época en la cual las sociedades se dedicaban primordialmente a la agricultura, la tecnología era muy primitiva y ésta disponía de herramientas muy simples que, sin embargo, eran lo último en tecnología. Como consecuencia de ello la mayoría de la gente eran agricultores y todo el trabajo se realizaba mediante la fuerza del mismo hombre y de los animales [1].

En consecuencia, con el afán del hombre por simplificar sus labores y a la vez modificar sus sistemas de producción, se ha llegado al desarrollo de las máquinas automatizadas conocidas como robots; como lejanos antecedentes [2] de los robots de hoy, se podría citar a los autómatas* mecánicos, muy extendidos en el siglo XVIII, utilizados en la sonería de los relojes o exhibidos como maravillas en salones y ferias. El más conocido de éstos en España fue el "Hombre de Palo" que se paseaba por las calles de Toledo, y cuya construcción es atribuida a Juanelo Turriano, famoso relojero e ingeniero de Carlos V. Algunos otros inventos, por mencionar son: La Fuente de Pájaros Cantores de Heron de Alejandría en Grecia (85 d.C., Imagen 1), el León Mecánico de Leonardo da Vinci (1499), el Escriba (Imagen 2 y 3), el Organista, y el Dibujante de la Familia Droz (1770). El autómata más antiguo, que se conserva en la actualidad es el Gallo de Estrasburgo que funcionó desde 1352 hasta 1789 [1].

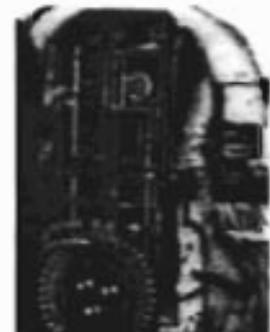


Imagen 1 (Izq.). Fuente de los Pájaros; Imagen 2 (Centro) el Escriba; Imagen 3 (Der.) Mecanismo interno del Escriba. Autómatas mecánicos, predecesores del robot moderno.

* De la palabra griega *Automatos*



Imagen 4. El Gallo de Estrasburgo funcionó desde 1352 hasta 1789

Un antecedente importante que encontramos en el siglo XX es el Ajedrecista de Torres Quevedo [2], que consiste en una máquina automática que jugaba finales de ajedrez y pronunciaba algunas palabras de aviso dirigidas a su contrincante como: ¡Jaque!, o de advertencia si su jugada no era correcta. El origen de la palabra robot** es más reciente, y fue acuñada en 1917 por el dramaturgo checo Capek, para designar a los trabajadores artificiales que aparecen en su obra R.U.R.. También el cineasta Fritz Lang crea un robot femenino en su película *Metrópolis*, de 1927. Pero fue Isaac Asimov quien a partir de los últimos años treinta difundió ampliamente los robots y la robótica en sus novelas de ciencia ficción.

Podemos decir que la fabricación de robots para el desarrollo de tareas muy específicas, se detona o comienza a partir de la Segunda Guerra Mundial. Como consecuencia, se construye el Surveyor para la exploración de la superficie lunar, el cual aluniza en 1966, y diez años después el Viking se poza en Marte; o los que se desarrollaron para aquellas funciones en las que se exigían ciertas destrezas para resolver situaciones completamente definidas, también los que se requerían para trabajar en ambientes altamente nocivos para la vida humana; como las centrales nucleares, o ciertos ambientes químicos o biológicos de alta toxicidad. En general éstos estaban asociados a proyectos de investigación con presupuestos muy elevados, en los que incluir partidas para la construcción de costosos robots resultaba factible. En cuanto a la microbótica se refiere, ésta sienta sus bases a mediados de los años 80; y actualmente los microbots son de bajo costo y se construyen con microchips de gran producción. Uno de los primeros robots de este tipo fue el Modelo 695, construido en 1984, por la empresa Intelledex utilizando los chips de Intel 8086 y 8087, empleando un lenguaje de programación llamado Robot Basic, que era una versión especial del BASIC de Microsoft.

** En lengua checa significa, siervo, esclavo.

En la actualidad son decenas de empresas las que ofrecen microbots, desde los que permiten automatizar pequeños talleres, hasta vehículos de exploración, o pequeños brazos industriales. También se ofrecen elementos o componentes de robots como: Sensores de diversos tipos, servomecanismos, motores de pasos, etc., con los que se pueden ensamblar unidades completas.

En una definición más formal, un robot sería una máquina diseñada para ejecutar una o más tareas repetidamente, con precisión y velocidad. En la actualidad los robots se pueden clasificar en dos grupos: Los autónomos y los de tipo insecto; los primeros tiene su propia computadora (controlador), mientras los segundos trabajan en flotas de varios a miles actuando como una sociedad de insectos, los cuales por sí solos suelen ser sencillos. No obstante, la suma de los individuos (flota) puede ser complicada, pero supervisados bajo un único controlador.

Los robots suelen ser agrupados en el cuadro del tiempo en que fueron utilizados por primera vez [3]; y son divididos en 4 generaciones:

La primera abarca los años 70's:

- Estáticos, no programables y electromecánicos.

La segunda fue desarrollada en los 80's:

- Pueden contener sensores y dispositivos programables.

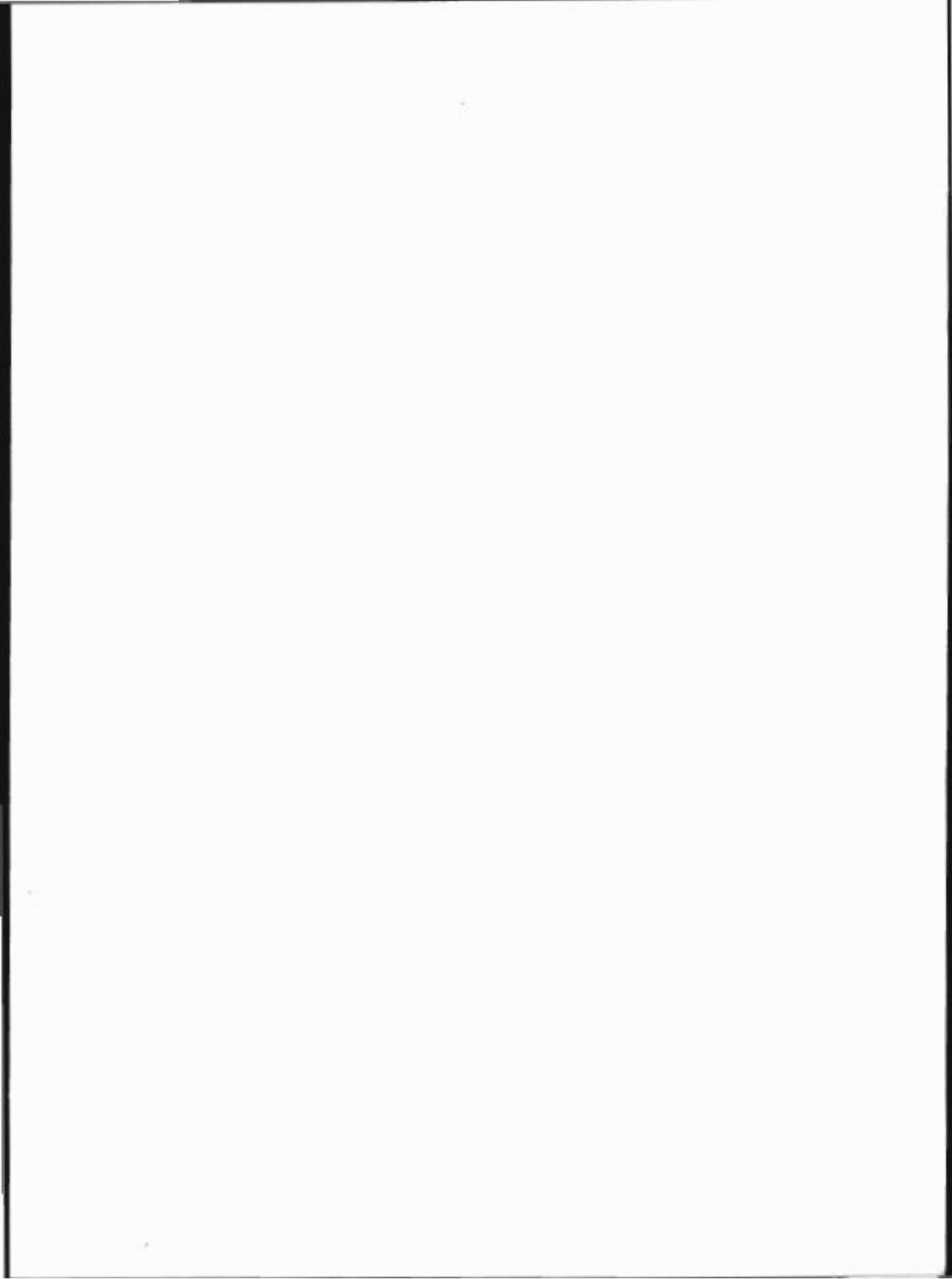
La tercera abarca de los años 90's a la actualidad:

- Estacionarios o móviles, autónomos o tipo insecto.
- Programación sofisticada.
- Reconocimiento y/o síntesis de voz.
- Y otras características avanzadas.

La cuarta generación está en fase de desarrollo e investigación, en ésta se incluyen características como:

- Inteligencia artificial
- Auto-ensamble
- Miniaturización (dimensiones físicas del orden de los nanómetros).

Finalmente concluiremos definiendo a la robótica como una rama de la ingeniería que envuelve la concepción, diseño, manufactura y operación del robot; e interactúa con la electrónica, ciencias computacionales, inteligencia artificial, mecatrónica, nanotecnología y bioingeniería. La robótica y la microbótica son tecno-ciencias encargadas de los robots y microbots respectivamente, siendo ambos máquinas muy sofisticadas.



Introducción

La robótica es una tecno-ciencia que comenzó a tomar auge a mediados del siglo pasado. En la actualidad los robots se utilizan en la investigación y/o exploración espacial, en centros de investigación como la NASA, en la industria los hay para la producción en serie de una extensa variedad de productos, en los hospitales se están utilizando cada vez con mayor frecuencia para salvar vidas, en las casas habitación controlan el ambiente o desarrollan múltiples tareas en el hogar; y también existen de manera virtual en Internet [18], etc..

Como resultado, la robótica está presente en casi todos los ámbitos del mundo moderno, ya sea físicamente o a través del sofisticado software que se ha desarrollado; y su aplicación, sin duda alguna, ha sido con el fin de mejorar la calidad de vida del hombre, simplificando los trabajos duros, sucios y complicados, como el manejo de sustancias tóxicas, radioactivas, o labores que requieren de gran precisión como la fabricación de piezas de dimensiones micrométricas. Así podemos decir que, por su aplicación, los robots, en la actualidad son sinónimo de automatización y simplificación de las tareas humanas. Pero es importante mencionar que no todas las máquinas automatizadas son robots.

En su diseño y construcción los robots modernos incluyen todo tipo y clase de sensores, así como de componentes electrónicos, eléctricos, mecánicos y motrices; todos ellos gobernados por un cerebro, el cual puede ser una computadora, o un microcontrolador. En algunas aplicaciones los robots más complejos incluyen inteligencia artificial, logrando que la complejidad y la cantidad de tareas a realizar por éstos aumenten considerablemente; así como su eficacia y precisión en la realización de sus labores.

En la actualidad, la robótica se ha desarrollado considerablemente, dando origen a una gran diversidad de ramas, como son: La mecatrónica, la microbótica, la domótica, etc., lo cual se traduce en innumerables tipos y clases de robots, ya que existen: Los hexápodos, los domobots, los educacionales, los microbots, los tipo insecto, etc.; siendo el más moderno, el ludobot, el cual es un tipo de robot social dedicado al entretenimiento de los seres humanos.

En lo concerniente a los microbots, podemos decir que son robots móviles gobernados por un microcontrolador, siendo creados la mayoría de ellos en la última década del siglo XX, apoyados en la aparición del mismo microcontrolador, ya que éste es la computadora que los controla y está incluida en el diseño de éstos. Así los microrrobots están dedicados a resolver

rápidamente y con exactitud tareas que no requieran de mucho procesamiento, ni de algoritmos complejos.

Gracias a las nuevas tecnologías inalámbricas como la Wi-Fi* usada en domótica, la capacidad de procesamiento ha aumentado; y por ende pueden realizar tareas más complejas. Cuando el microbot trabaja sin ser gobernado por una computadora externa, como es el caso de nuestro robot, se dice que trabaja de una manera autónoma.

Así, a lo largo de esta tesis se tratará el desarrollo, diseño y construcción de un microrrobot. El documento se divide en tres capítulos, a lo largo de los cuales se verán, las características físicas y electrónicas de los elementos que constituyen el proyecto hasta llegar a los resultados obtenidos de la utilización de éstos mismos.

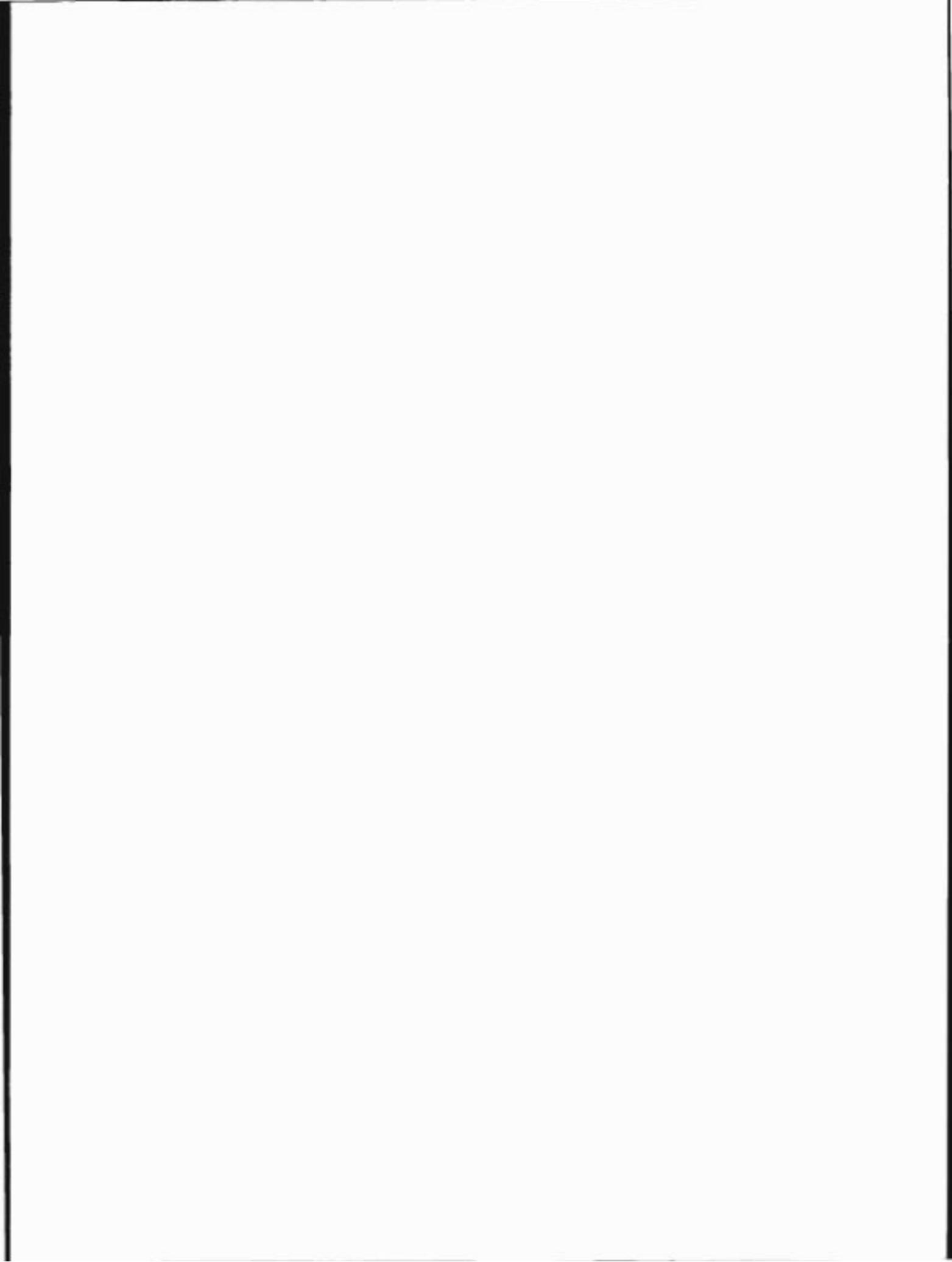
El primer capítulo trata de los fundamentos teóricos, donde primeramente se da la definición del microcontrolador, se explica su estructura, características, y la variedad existente de éstos en el mercado. También se da una amplia reseña del microcontrolador que se utiliza, donde se señalan sus aspectos más relevantes. A continuación se mencionan los elementos electromecánicos y mecánicos que se utilizan en el robot, tales como los motores en CD; y aquí se hace referencia a su funcionamiento, la forma en que transforman la energía eléctrica en mecánica y se explica la forma de operación de los sistemas reductores de velocidad mediante engranajes. En el último apartado del capítulo se discute brevemente, el principio de operación de los sensores de reflexión óptica, utilizados en el desarrollo del proyecto.

En el capítulo dos se discute detalladamente el diseño y construcción del microbot, donde una vez determinada la tarea que realizará, la cual consiste en seguir una línea blanca sobre un fondo negro, se hace la selección de los componentes óptimos para la aplicación. Se citan las razones de la selección de estos componentes y la función de cada uno de ellos. Se destaca la elección del PIC16F84A el cual actúa como cerebro procesando la información a través de su camino de datos. Enseguida se describe el funcionamiento del sensor de reflexión CNY70; que son los ojos del microbot, y el funcionamiento del L293B como manejador para los motores con caja reductora de velocidad integrada, los cuales actúan como medio de locomoción. Como tercer punto se describe detalladamente la operación de los módulos que conforman al robot y los elementos que lo constituyen. Estos módulos son: La etapa de control, la de sensores y la de potencia. Enseguida aparecen los diagramas esquemáticos de los circuitos impresos. En el cuarto apartado del capítulo se discute el diseño de la base o carcasa, la cual solo cuenta con tres puntos de apoyo. Por último, en el quinto punto se ve la conformación del programa, partiendo de los diagramas de flujo hasta llegar a la creación del código del programa en lenguaje ensamblador.

*Mayor información en <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>

El tercer capítulo se revisan y discuten los resultados de este proyecto de tesis; y se hace un análisis de los elementos utilizados frente a otras opciones.

Finalmente, se dan las conclusiones del desarrollo de este proyecto; y se resalta la creación de una página WEB donde está contenida la tesis.



Capítulo 1

Fundamentos Teóricos

1.1 El microcontrolador

El microcontrolador [3,4] es un Circuito Integrado (CI) dentro del cual se encuentran las tres unidades de un ordenador; Unidad Central de Procesamiento (CPU), memoria y unidades de Entrada/Salida. Es decir, se trata de un computador en una monopastilla con limitadas prestaciones, normalmente utilizado en la aplicación de tareas específicas. Es de tamaño reducido, por lo que suele ir incrustado en el dispositivo que controla.

Un microcontrolador difiere de una CPU normal, debido a que es más fácil convertir el primero en un ordenador en funcionamiento, con un mínimo de componentes externos de apoyo. La idea es que el microcontrolador se coloque en un dispositivo, alimentado con la misma fuente de alimentación y se le proporcione la información requerida al procesador; mientras una computadora tradicional no permitirá hacer esto, dado que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros componentes periféricos, como por ejemplo: El teclado, el *mouse*, etc..

1.1.1 Estructura de un microcontrolador

Un microcontrolador [5] típico está constituido por los siguientes dispositivos:

- Memoria de datos, la cual está compuesta por:
 - Memoria de acceso aleatorio (RAM); es de lectura y escritura muy rápida, pero volátil.
 - Memoria de lectura electrónicamente borrable (EEPROM); utilizada en lectura y escritura de datos. Es lenta pero no volátil.

- Procesador, el cual está integrado por:
 - Camino de instrucciones: Éste nos conduce a la posición de memoria, donde se encuentra la instrucción o dato a leer.
 - Unidad de Control: Es la encargada de interpretar las instrucciones.
 - Camino de Datos: Se encarga de ejecutar las instrucciones.
- Generador de reloj integrado: El cual genera los pulsos del ciclo de trabajo.
- Puertos de entrada y salida: Algunos de ellos pueden ser programados como entrada o salida.

Algunas características especializadas que posee el microcontrolador:

- Convertidor Análogo a Digital (ADC, por sus siglas en inglés).
- Convertidor Digital Análogo (DAC, por sus siglas en inglés).
- Transmisor/Receptor Asíncrono Universal (UART; *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*).
- Buses de interfaz, especificados como: I²C y CAN.
- Perro Guardián (*WATCHDOG*).
- Contadores.
- Interrupciones.
- Modo de trabajo en reposo.

Frecuentemente estos dispositivos integrados pueden ser controlados por instrucciones de procesadores especializados. La mayoría de los microcontroladores actuales incluyen un lenguaje ensamblador de programación integrado y, algunos de ellos, pueden ser programados en algún lenguaje de alto nivel como C++ ó JAVA.

Los microcontroladores negocian dentro de su construcción la velocidad y la flexibilidad para facilitar su uso, por lo cual prescinden de cualquier otra circuitería extra, pues esto implicará mayor área en el chip que puede ser ocupada por otros dispositivos inherentes del microcontrolador; como los puertos E/S, memoria, etc.

Las marcas de microcontroladores más comunes en uso son:

- Atmel.
- Hitachi.
- Holtek.
- Intel.
- National Semiconductor.
- Microchip.
- NECST.
- Zilog.
- Genéricos: Los microcontroladores están contruidos con diferentes arquitecturas y los ofrecen diversos fabricantes en una gran variedad. Por lo que cada familia

podría tener, con total corrección, sus propias categorías. Como es el caso que encontraremos principalmente en las variantes del 8051 y Z80.

Los microcontroladores por la manera en que manejan su *bus* de datos se pueden categorizar en microcontroladores de:

- 4 Bits.
- 8 Bits.
- 16 Bits.
- 32 Bits.

Los microcontroladores de 4 Bits son los más vendidos en volumen; más en los últimos años se ha consolidado un fuerte crecimiento en las ventas de los de 8 bits. El mayor consumo de éstos, lo acaparan en una tercera parte las aplicaciones relacionadas con la PC y sus periféricos. La cuarta parte la absorben los productos de gran consumo, como electrodomésticos, juegos, TV, etc.. Después las comunicaciones, el área industrial y la automoción completan el resto.

Recuérdese que los microcontroladores son dispositivos que se usan en aplicaciones concretas y para cada una de ellas existe un microcontrolador óptimo, pero, según la circunstancia y las expectativas del futuro, el modelo y fabricante pueden cambiar. Lo cual significa que no existe un microcontrolador "mejor que los demás", más bien existe uno para cada caso específico.

1.2 El microcontrolador PIC16F84A

Dentro de la gran gama de microcontroladores existen los PIC de MICROCHIP; ésta es una empresa fuertemente posicionada en el mercado de microcontroladores de 8 Bits. Esta aceptación por parte de las industrias, profesionales y aficionados se debe a que están rodeados por un conjunto de características cuyo promedio aventaja notablemente a sus competidores. Algunos de los aspectos más relevantes de los PIC son:

- Sencillez de manejo.
- Excelente información y bibliografía.
- Bajo precio.
- Buen promedio de parámetros fundamentales.
- Herramientas de desarrollo fáciles de manejar y económicas.
- Diseño y programación rápida y eficaz.
- Gran variedad de modelos en microcontroladores.

MICROCHIP [6] se ha preocupado más en vender y hacer negocio con sus microcontroladores que con las herramientas auxiliares que precisan. Así, muchas herramientas

fase de ejecución. Durante la fase de búsqueda el contenido del contador de programa (PC), se vuelca en el *bus* de direcciones de la memoria de programa, y apunta en ella la posición donde se encuentra el código binario de la instrucción que se desea ejecutar. El PC siempre contiene las direcciones de las instrucciones y nunca la dirección de los datos. El *bus* de instrucciones traslada el código binario de la instrucción que apunta al PC, hasta la unidad de control del procesador, donde existe un registro especial denominado Registro de Instrucciones; en éste se deposita la instrucción, dando por finalizada la primera fase de la instrucción.

Cuando se realiza la fase de ejecución, el código de la instrucción está alojado en el registro de instrucciones; y la unidad de control procede a decodificarlo e interpretar, para saber a que instrucción se refiere. Finalizada la interpretación, la unidad de control genera secuencialmente una serie de señales de control que se aplican al resto de los elementos, haciendo que se ejecuten.

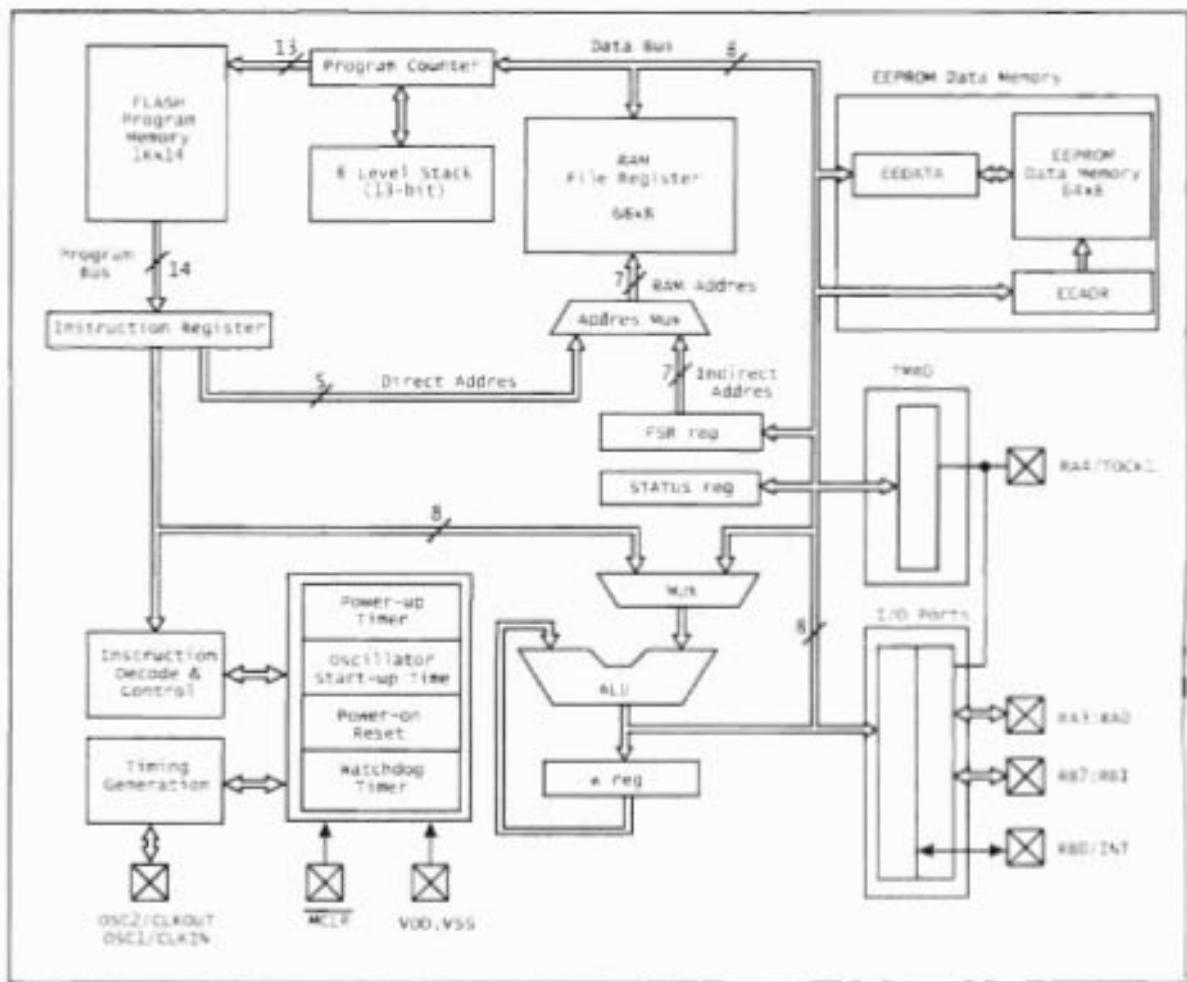


Figura 1.2 Diagrama de la arquitectura básica del PIC

Para efectuar las operaciones lógicas o aritméticas, existe dentro del camino de datos la Unidad Lógica Aritmética (ALU), la cual recibe dos operandos, uno procedente del registro de

trabajo W; y el otro puede provenir de la misma instrucción, ya sea que se trate de un operando inmediato, o de uno de los registros del banco, que está implementado por las posiciones de la memoria de datos RAM.

1.2.3 Registros de Uso Específico

Los registros de uso específico (SFR) Tabla 1.1 se encuentran en la memoria de datos RAM, ubicados dentro de los bancos 0 y 1, ocupando las primeras 12 posiciones de ambos bancos, de sus posibles 80 localidades de 8 bits. Al ser configurados a 0 o a 1 cada uno de los bits que conforman a dichos registros, se podrá programar el funcionamiento de los recursos del microcontrolador. A esta configuración se le conoce como palabra de control.

Tabla 1.1 Registros de uso específico

Dirección	Nombre	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Valor en Encendido Reset
Banco 0										
00h	INDF	Usa el contenido del FSR para el direccionamiento de la Memoria de Datos								---- ----
01h	TMR0	Tiempo Real Reloj/Contador de 8-bit								XXXX XXXX
02h	PCL	8-bits Inferiores del Contador de Programa (PC)								0000 0000
03h	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	0001 1xxx
04h	FSR	Dirección Indirecta de la Memoria de Datos Puntero 0								XXXX XXXX
05h	PORTA	—	—	—	RA4/T0CKI	RA3	RA2	RA1	RA0	---x xxxx
06h	PORTB	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0/INT	xxxx xxxx
07h	—	Locación sin implementar, leída como '0'								—
08h	EEDATA	Registro de Datos EEPROM								XXXX XXXX
09h	EEADR	Registro de Dirección EEPROM								XXXX XXXX
0Ah	PCLATH	—	—	—	Búfer de escritura de los 5 bits superiores del PC				---0 0000	
0Bh	INTCON	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x
Banco 1										
80h	INDF	Usa el contenido del FSR para direccionamiento de la Memoria de Datos								---- ----
81h	OPTION_REG	RBP1	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0	1111 1111
82h	PCL	8-bits Inferiores del Contador de Programa (PC)								0000 0000
83h	STATUS	IRP	RP1	RP0	TO	PD	Z	DC	C	0001 1xxx
84h	FSR	Dirección Indirecta de la Memoria de Datos Puntero 0								XXXX XXXX
85h	TRISA	—	—	—	Entrada A Registro de Dirección de Datos				---1 1111	
86h	TRISB	Entrada B Registro de Dirección de Datos								1111 1111
87h	—	Locación sin implementar, leída como '0'								—
88h	EECON1	—	—	—	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD	---0 x000
89h	EECON2	EEPROM Control de Registro 2 (registro no físico)								---- ----
0Ah	PCLATH	—	—	—	Búfer de Escritura para los 5 bit superiores del PC				---0 0000	
0Bh	INTCON	GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF	0000 000x

Los registros de uso específico pueden ser clasificados en dos grupos, cuerpo y periféricos. En el primero encontramos los registros que involucran las funciones vitales y

propias del microcontrolador; entre ellos destacan: ESTADO, PCL, PCLATH, OPTION, INTCON, etc.. En el segundo grupo se incluyen los registros relacionados con el manejo de los recursos auxiliares y de los periféricos; entre ellos están: TMR0, PUERTA A, TRISA, etc..

1.2.4 Sumario de Instrucciones

Cada instrucción del PIC16F84A es una palabra de 14-bits, dividida en un OPCODE (*Optimized Code Detection*): Por medio de esta palabra el lenguaje ensamblador efectúa la traducción de cada una de las instrucciones a lenguaje máquina; y especifica la operación a realizar, así como los operandos fuente y destino que la integren. En la Tabla 1.2 se representa el campo de los parámetros u operandos que admiten o necesitan las instrucciones para ejecutarse.

Tabla 1.2 Descripción de los campos del PIC

CAMPO	Descripción
f	Registro de archivo de trabajo (0x0 a la 0x7F), representa un registro de la memoria de datos.
W	Registro de Trabajo (acumulador), es un registro especial, que no forma parte de la memoria de datos y es utilizado en la mayoría de las operaciones lógico-aritméticas.
b	Bit dirigido con un archivo de registro de 8-bit.
k	Literal de campo, dato constante o etiqueta, es decir un valor numérico que acompaña al mnemónico de la instrucción.
x	NO importa la locación (= 0 o 1). El ensamblador regenerará el código con x = 0. Esta es la manera de uso recomendada para la compatibilidad de todas las utilidades del software de Microchip.
d	Destino seleccionado; d = 0: Resultado almacenado en W, d = 1 : Resultado almacenado en el registro de archivo f. Valor predeterminado d=1.
PC	Contador de programa.
TO	Bit de fin de tiempo (<i>Time Over</i>).
PD	Bit de apagado (<i>Power down</i>).

El total de instrucciones que usa el PIC16F84A son 35. Las cuales se pueden agrupar en tres tipos diferentes; las operaciones orientadas por byte, orientadas por bit; y las de literal y control representadas en la Tabla 1.3.

Las operaciones orientadas por byte tienen como principal función el trabajo con datos. Cada dato está compuesto por 8 bits, el cual es tratado mediante alguna de estas instrucciones; como podrían ser la suma, la rotación o alguna otra operación lógica o aritmética. El dato puede provenir de algún registro de la memoria de datos, de las puertas de entrada o del mismo registro.

Tabla 1.3 Sumario de instrucciones

Operandos Mnemónicos	Descripción	Ciclos	14-bit Opcode		Condición Afectada	Nota
			MSb	LSb		
OPERACIONES DEL ARCHIVO DE REGISTRO ORIENTADAS POR BYTE						
ADDWF	f, d Sumar W y f	1	00	0111 dfff ffff	C,DC,Z	1,2
ANDWF	f, d AND W y f	1	00	0101 dfff ffff	Z	1,2
CLDF	f Limpia f	1	00	0001 1fff ffff	Z	2
CLRW	- Limpia W	1	00	0001 0xxx xxxx	Z	
COMF	f, d Complemento f	1	00	1001 dfff ffff	Z	1,2
DECf	f, d Decremento f	1	00	0011 dfff ffff	Z	1,2
DECFSZ	f, d Decremento f, salta si 0	1(2)	00	1011 dfff ffff		1,2,3
INCF	f, d Incremento f	1	00	1010 dfff ffff	Z	1,2
INCFSZ	f, d Incremento f, salta si 0	1(2)	00	1111 dfff ffff		1,2,3
IORWF	f, d OR inclusivo de W con f	1	00	0100 dfff ffff	Z	1,2
MOVF	f, d Mover f	1	00	1000 dfff ffff	Z	1,2
MOVWF	f Mover W a f	1	00	0000 1fff ffff		
NOP	- Sin operación	1	00	0000 0xx0 0000		
RLF	f, d Rotar izquierda con acarreo	1	00	1101 dfff ffff	C	1,2
RRF	f, d Rotar derecha con acarreo	1	00	1100 dfff ffff	C	1,2
SUBWF	f, d Restar W con f	1	00	0010 dfff ffff	C,DC,Z	1,2
SWAF	f, d Cambiar nibbles en f	1	00	1110 dfff ffff		1,2
XORWF	f, d OR exclusivo de W con f	1	00	0110 dfff ffff	Z	1,2
OPERACIONES DEL REGISTRO DE ARCHIVOS ORIENTADAS POR BIT						
BCF	f,b Limpiar bit f	1	01	00bb bfff ffff		1,2
BSF	f,b Fijar bit f	1	01	01bb bfff ffff		1,2
BTFSZ	f,b Bit test f, saltar si limpio	1(2)	01	10bb bfff ffff		3
BTFSZ	f,b Bit test f, saltar si fijo	1(2)	01	11bb bfff ffff		3
OPERACIONES DE LITERAL Y CONTROL						
ADDLW	k Sumar literal y W	1	11	111x kkkk kkkk	C,DC,Z	
ANDLW	k AND literal y W	1	11	1001 kkkk kkkk	Z	
CALL	k Llamar subrutina	2	10	0kkk kkkk kkkk		
CLRWDT	- Limpiar <i>timer</i> del <i>Watchdog</i>	1	00	0000 0110 0100	TOPD	
GOTO	k Ir a la dirección	2	10	1kkk kkkk kkkk		
IORLW	k OR inclusivo literal con W	1	11	1000 kkkk kkkk	Z	
MOVLW	k Mover literal a W	1	11	00xx kkkk kkkk		
RETFIE	- Regresar de la interrupción	2	00	0000 0000 1001		
RETLW	k Regresar con literal en W	2	11	01xx kkkk kkkk		
RETURN	- Regresar de la subrutina	2	00	0000 0000 1000		
SLEEP	- Ir a modo de <i>standby</i>	1	00	0000 0110 0011	TOPD	
SUBLW	k Restar W de literal	1	11	110x kkkk kkkk	C,DC,Z	
XORLW	k OR exclusivo, literal con W	1	11	1010 kkk kkkkk	Z	

nota 1: Cuando un registro E/S es modificado como una función de él mismo (e.g., `MOVF PORTB, 1`), el valor usado será el que esté presente en los pines. Por ejemplo, si el dato obtenido es '1' por un pin configurado como entrada y tiene un valor bajo debido a un dispositivo externo, el dato será escrito con un '0'.

2: Si una instrucción es ejecutada en el registro TMR0 (y, donde aplique, d = 1), la preescala será limpiada si se asigna al Módulo Timer0.

3: Si el Contador de Programa (PC) es modificado o es una condición prueba de verdad, la instrucción requiere dos ciclos. El segundo ciclo es ejecutado como un NOP.

4: Banderas de: C (acarreo), DC (acarreo de dígito), Z (cero), TO (Bit de fin de tiempo), PD (Bit de apagado).

Las operaciones orientadas por bit se utilizan en el establecimiento de múltiples características que conforman el funcionamiento de los registros de uso específico, al poder programar la palabra de control de dichos registros. Controlando así los diversos recursos del microcontrolador, como las puertas E/S, el temporizador (TMR 0), entre otros; y se usan también en la puesta a 0 o 1 de diferentes señalizadores.

Las operaciones de literal y control trabajan principalmente con el registro de trabajo W y una literal, previamente introducida en el programa. Las operaciones a realizar pueden ser: Lógicas, aritméticas, de salto, llamadas a subrutinas, interrupciones, etc..

Cada ciclo de ejecución de una instrucción está compuesto por cuatro oscilaciones de reloj (Tosc). Por lo que para una frecuencia de 4 Mhz, la ejecución de una orden normal tardaría 1 μ s. Así, la mayoría de las instrucciones son ejecutadas en un ciclo de trabajo, a menos que una orden de prueba condicional aparezca como INCFSZ y sea verdadera, o intervenga una llamada a subrutina, lo cual provocaría que el microcontrolador tardase 2 ciclos de trabajo en ejecutarlas.

1.3 Motores de Corriente Directa (CD)

El motor eléctrico [8] es un dispositivo electromotriz, esto quiere decir que convierte la energía eléctrica en energía motriz. Todos ellos disponen de un eje de salida para acoplar un engranaje, polea o mecanismo capaz de transmitir el movimiento creado por el motor.

El funcionamiento de un motor [9] se basa en la acción de campos magnéticos opuestos que hacen girar el rotor (eje interno) en dirección opuesta al estator (imán externo o bobina), que está estático en el chasis; por lo que si sujetamos por medio de soportes o bridas la carcasa del motor, el eje de salida será lo único que gire.

Se puede cambiar la dirección de giro del motor eléctrico, así como variar su velocidad. En el primer caso esto se logra mediante la inversión de la polaridad de la fuente de alimentación; y en el caso de la velocidad, ésta cambia proporcionalmente con respecto a la variación de la amplitud del voltaje de alimentación. Por lo cual podemos decir que hay una pérdida de velocidad, así como una disminución en el PAR (fuerza entregada por el motor) de giro, cuando la amplitud del voltaje de alimentación disminuye.

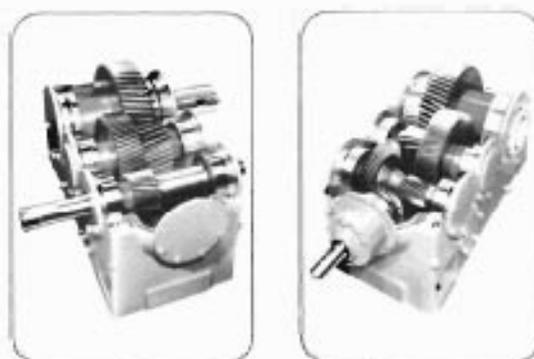
1.4 Sistema Reductor de Velocidad

El reductor [10] consiste en juegos de pares de engranajes con gran diferencia de diámetros entre sí, de esta forma el engrane de menor diámetro debe dar varias vueltas para que el de diámetro mayor dé una sola vuelta, obteniendo de esta manera una gran reducción en la velocidad de giro y un considerable aumento en la fuerza de salida. Para la obtención de grandes reducciones de velocidad y ganancia de PAR en el giro del motor, se repite este proceso colocando varios pares de engranes conectados uno a continuación del otro.

La desventaja en un motor de CD sin un sistema reductor de velocidad adaptado a éste, es que nos ofrece una alta velocidad, pero entrega poca fuerza de salida.

Las Figs. 1.3 a) y b) muestran dos cajas de reductores con engranes cilíndricos y cónicos. Una de ellas tiene dos pares de engranajes cilíndricos de diente helicoidal y la otra posee además un par de engranajes cónicos de diente helicoidal.

Con este tipo de sistemas aparte de obtener una reducción de velocidad, aumenta la fuerza de salida; ésta característica es importante puesto que un motor de CD de baja potencia sin reductor de velocidad ofrece una alta velocidad y poca fuerza de salida.



Figuras 1.3 a) (Izq.) y b) (Der.). Ejemplos de reductores de velocidad

1.5 Diferencial Tipo Tanque

El diferencial tipo tanque, Fig. 1.4, como su mismo nombre lo dice, es empleado por los tanques de guerra. Este tipo de tracción motriz se logra colocando dos motores independientes entre sí, ubicándolos uno a cada lado del vehículo. El movimiento del vehículo dependerá de las combinaciones del sentido de giro de cada uno de los motores. Si éstos giran con una

misma velocidad y sentido, el vehículo se moverá en línea recta, ya sea hacia delante o hacia atrás. Se provocará que el vehículo gire a la izquierda o a la derecha si sucede alguno de los siguientes casos: Que ambos motores tengan una diferencia de velocidad, que giren en diferente dirección, o que alguno de ellos esté estático.

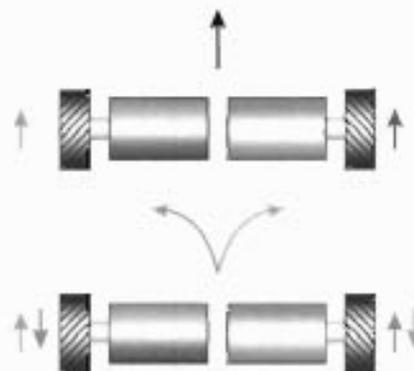


Figura 1.4 Ilustración gráfica del diferencial tipo tanque

1.6 Sensores de Reflexión Óptica

Los sensores de reflexión [11] son dispositivos optoelectrónicos con un par emisor-receptor trabajando en el mismo rango de longitud de onda λ . El principio de funcionamiento de este tipo de sensor depende del arreglo emisor y receptor, los cuales se colocan en una posición tal que el receptor sense la presencia de un objeto por la cantidad de luz reflejada por el mismo; es recomendable un encapsulado que contenga buenos filtros contra luces externas o difusas. Esta clase de sensores se puede encontrar para superficies lisas; y se recomienda por lo general, si se desea obtener un óptimo desempeño de ellos, utilizar medios altamente reflejantes. En el caso de que el medio o superficie sea rugoso, se utilizarán sensores de reflexión diseñados para dichos casos, los cuales tienen un pequeño desenfoque entre el transmisor y el receptor.

En la Fig. 1.5 se muestra el esquema del funcionamiento de los sensores por reflexión. En la hoja del fabricante se encontrará el rango de distancia de sensado, "d", máximo y mínimo, así como la gráfica de distancia de sensado contra corriente. La curva característica, en algunos casos, tiene comportamiento no lineal. La distancia de sensado puede ser desde algunos milímetros hasta varios centímetros o metros. Este componente suele ser empleado para detectar la proximidad o paso de objetos, así como para saber si una superficie es o no reflejante.

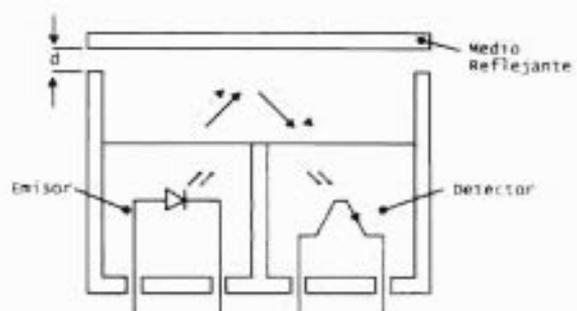
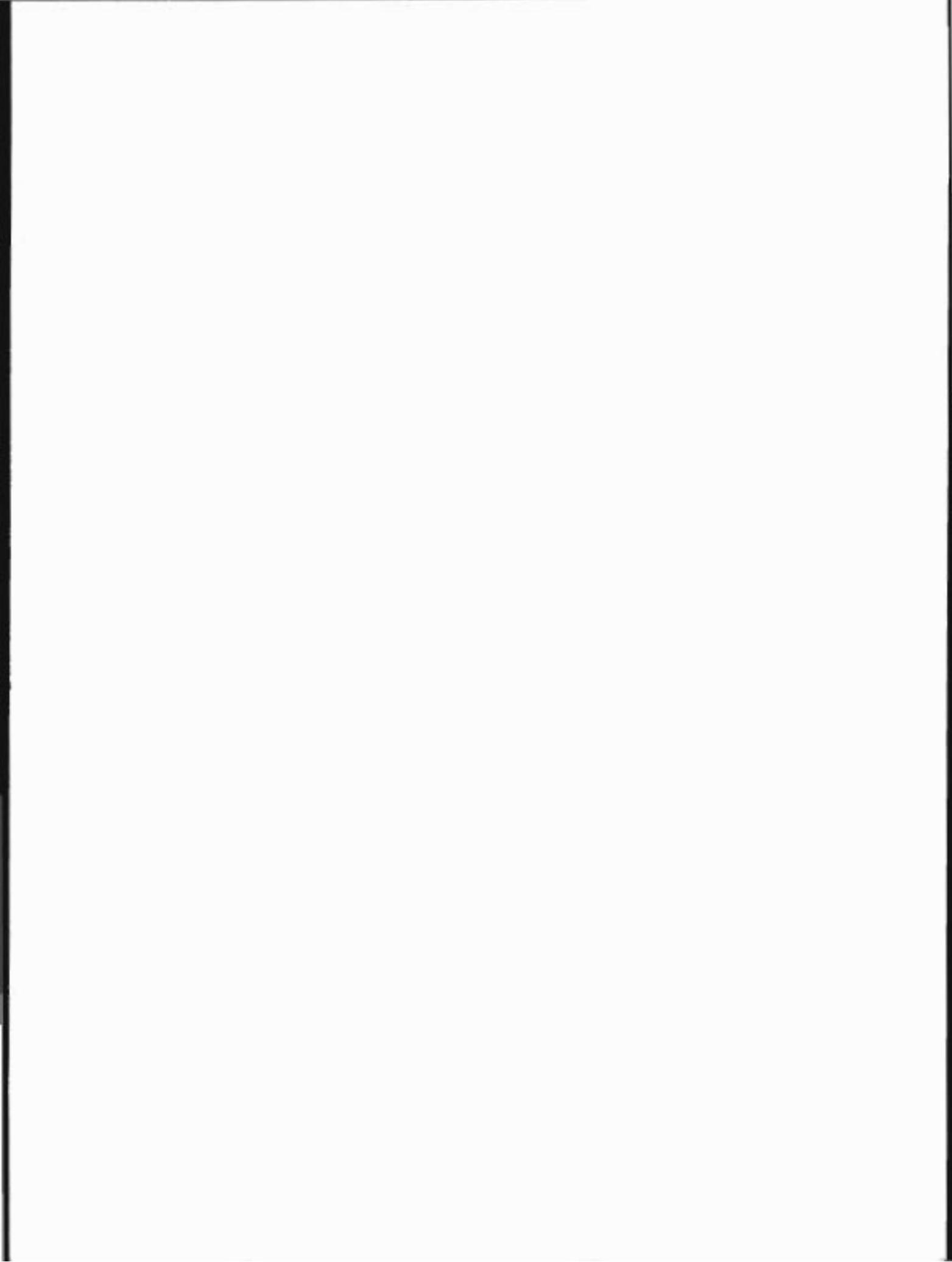


Figura 1.5 Ilustración del funcionamiento de un sensor por reflexión



Capítulo 2

Diseño y Construcción del Microbot

En este capítulo se aborda la descripción de la construcción del microbot seguidor de línea (*DEEPLINE*) paso a paso, teniendo como primer punto, la determinación de la tarea a realizar, para después en el siguiente paso determinar los elementos óptimos, que deben de interactuar para la realización de dicha tarea. Como tercer punto se verá la descripción de los módulos que conforman al microrrobot, como son: La etapa de control, la de sensores y la de potencia. En el cuarto apartado vemos el diseño de la base o carcasa donde se integran todas las etapas y circuitería que conforman al microbot; por último, el quinto apartado de este capítulo trata sobre el programa fuente del microbot.

2.1 Objetivos y Tareas a Desarrollar

El objetivo principal de este trabajo es construir un microbot el cual sea capaz de poder rastrear y seguir una línea blanca sobre un fondo negro. Para la construcción del microrrobot se requiere un microcontrolador que disponga de una memoria de programa y selección de datos adecuados. Siendo necesario que la memoria pueda ser escrita y borrada cuantas veces sea necesario para poder corregir el programa en caso de requerirse. Aunado a esto se tendrá que elegir correctamente el microcontrolador, dependiendo de la cantidad y tipo de sensores, actuadores y partes electrónicas con las cuales se comunicará éste. Específicamente, en esta aplicación, se precisa de dos sensores para la detección de la línea blanca, con lo cual sólo se necesitarán dos líneas de entrada. Respecto a los actuadores, se utilizarán dos motores de CD como parte motriz del sistema, por lo tanto serán necesarias cuatro líneas de salida para controlarlos.

Una vez conocidas las labores que realizará el microbot a construirse, se tendrán que escoger los elementos electrónicos, eléctricos y electromotrices que mejor se adapten y ayuden a la realización óptima de este proyecto.

2.2 Selección y Utilización de Elementos

Para este trabajo se optó por utilizar los siguientes elementos:

- Como cerebro del robot el microcontrolador PIC16F84A [6]
- Para detectar la línea se emplea el sensor CNY70 de reflexión [12]
- La tracción motriz se realiza mediante motores de CD con reductor de velocidad integrado manejados por el dispositivo L293B [13].

2.2.1 Microcontrolador PIC16F84A

Teniendo claras las cualidades que debe de tener interna y externamente el microcontrolador y las actividades que debe efectuar o controlar, de acuerdo a lo descrito anteriormente, se decidió por utilizar el PIC16F84A para el proyecto, pues éste dispositivo es capaz de funcionar con una velocidad máxima de 20 Mhz; y además posee las siguientes características:

- Tamaño y coste reducido.
- Dispone de 13 líneas de Entrada/Salida, (E/S), para el manejo o comunicación con componentes externos.
- Memoria de Programa tipo FLASH de 1 Kb x 14 bits, la cual es leible, reescribible y no volátil; pudiendo ser borrada y escrita unas mil veces.
- Adicionado con recursos auxiliares como: Temporizador, interrupciones, perro guardián y la cualidad de trabajar en un estado de bajo consumo de energía.

Para gobernar el microbot, el microcontrolador debe procesar la información procedente de los sensores, en este caso se utiliza un par de ellos del tipo optoelectrónico. De la correcta interpretación de las señales enviadas por éstos, el PIC16F84A regula o controla el movimiento de los motores eléctricos de CD que forman parte del sistema motriz, a través del manejador L293B que actúa como interfaz entre ellos.

2.2.2 Sensor Optoelectrónico CNY70

En la tarea específica de detectar una línea blanca sobre fondo negro, se optó por emplear dos componentes CNY70, Figs. 2.1 y 2.2, de la marca VISHAY TELEFUNKEN, los cuales son sensores ópticos de reflexión para distancias cortas, con salida a transistor. Su empaque es un cubo compacto, donde el emisor y receptor están arreglados en la misma dirección para detectar la presencia de objetos mediante el uso del reflejo del rayo infrarrojo IR (*Infra Red*) que incide sobre el objeto. La longitud de onda de operación del diodo transmisor, así como del fototransistor, que es el receptor, es de $\lambda = 950 \text{ nm}$. Con lo cual el dispositivo alcanza una distancia de sensado entre 0.3 mm a 10 mm.

Así mismo el CNY70 tiene las siguientes cualidades:

- Entrega una señal alta de salida.
- Presenta un bajo coeficiente de temperatura.
- El detector está provisto de un filtro óptico.
- La razón de transferencia de corriente es del 15%.

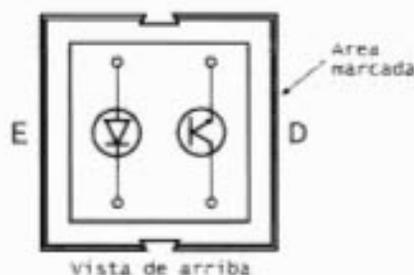


Figura 2.1 (Izq.) Diagrama del CNY70, Figura 2.2 (Der.) Foto del CNY70

2.2.3 Controlador de Motores L293B

Con el fin de garantizar una buena alimentación en los motores de CD utilizados, e igualmente evitar las corrientes de pico generadas por éstos, las cuales pudiesen dañar el cerebro del microrrobot; se utilizó el circuito integrado L293B, Fig. 2.3, para su manejo. Este componente internamente contiene cuatro manejadores dispuestos en configuración *push-pull*. Estos últimos se agrupan en pares para conformar dos puentes H completos, los cuales se utilizan como manejadores para motores en CD de baja potencia.

El dispositivo es capaz de entregar 1 A de salida por canal; y a la vez cada uno de éstos es controlado por niveles compatibles a señales de entrada lógicas tipo TTL. Los pines 4, 5, 12 y 13 son utilizados para disipar el calor en el componente.

El L293B posee las siguientes características:

- Una corriente de salida de 1 A por canal.
- Soporta corrientes pico-pico de 2 A por canal.
- Facilidad de inhibición.
- Alta inmunidad al ruido.
- Alimentación de control separada.
- Protección contra sobrecalentamiento.

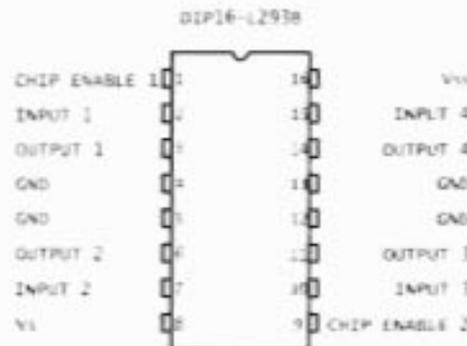


Figura 2.3 Encapsulado del L293B

2.2.4 Motor de CD con Reductor de Velocidad

El microbot fue ideado para implementarle una tracción tipo tanque, por lo cual se precisa del uso de dos motores, Fig. 2.4, lo cuales permitirán que avance o gire. Esto es posible ya que una característica importante de los electromotores de CD utilizados, consiste en el sistema reductor de velocidad que traen integrado; dicho sistema nos permite incrementar la fuerza de salida, a través de la reducción de la alta velocidad de giro con la que trabaja cada motor. Asimismo están diseñados para ser alimentados a 12 V_{CD} , alcanzando 31 revoluciones por minuto (RPM) y entregando un torque mayor a 1 Kg-cm. En la construcción del (*DEEPLINE*), los motores son alimentados a 9 V_{CD} , con lo cual se obtienen 23 RPM; ver Fig. 2.5. En las Figs. 2.6 y 2.7 se muestran características inherentes a los motores utilizados.



Figura 2.4 Imagen del motor utilizado

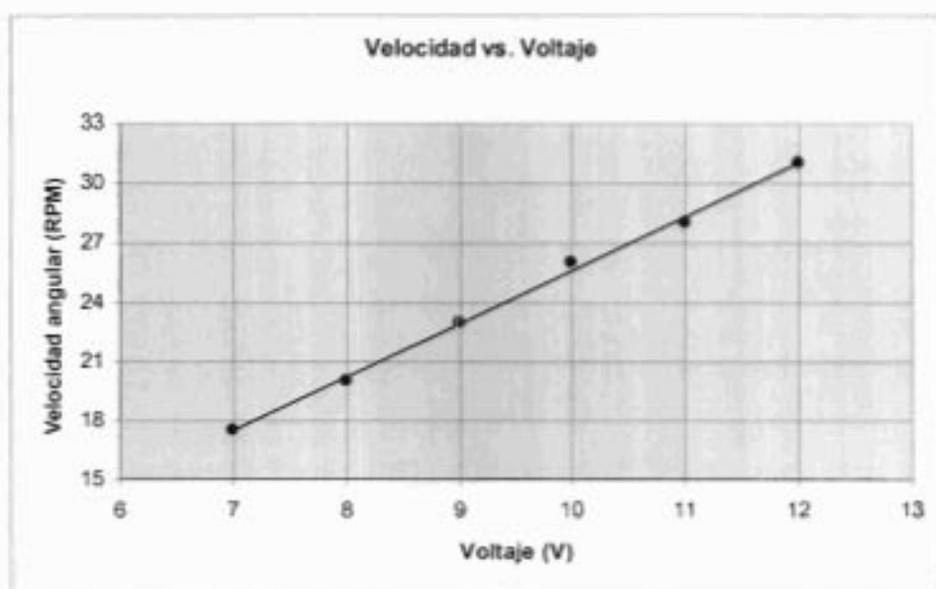


Figura 2.5 Gráfica de velocidad angular (RPM) contra voltaje

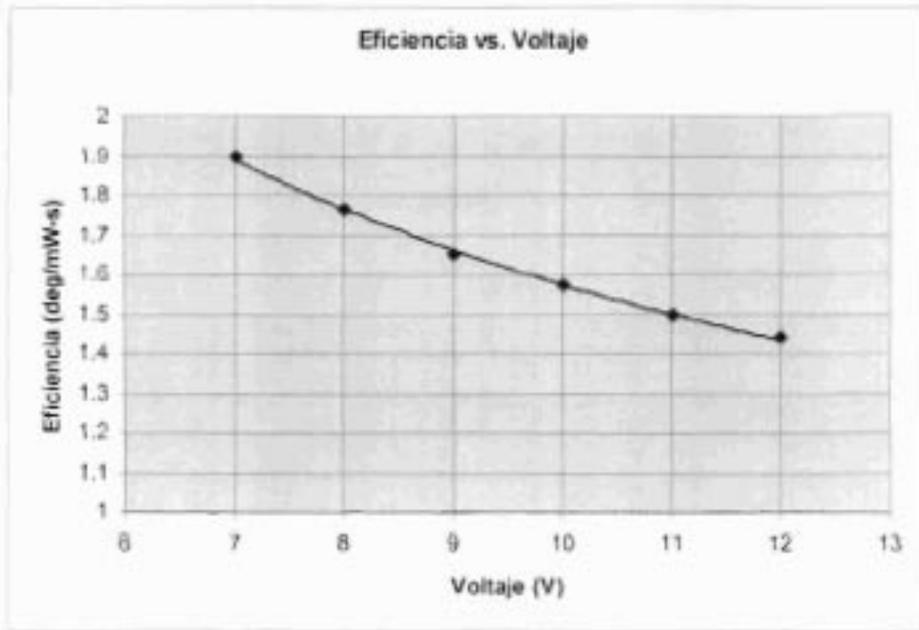


Figura 2.6 Gráfica de eficiencia* contra voltaje

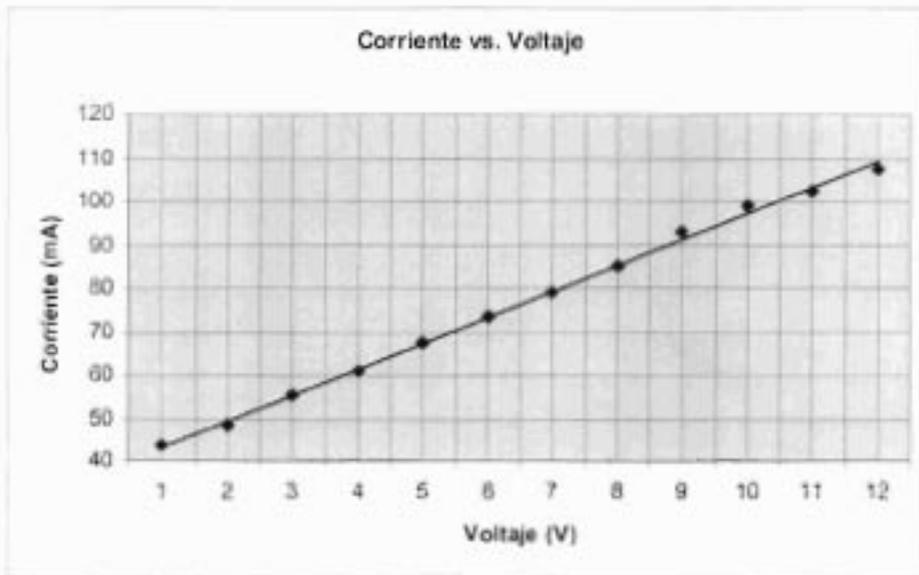


Figura 2.7 Gráfica del consumo de corriente contra voltaje del motor sin carga

* La eficiencia se obtuvo de la velocidad en deg/s ($60 \cdot \text{RPM}$) entre la potencia ($I \cdot V$) [14].

FAMTSDJ

2.3 Descripción de los Módulos

En la construcción del robot se utilizan 2 tarjetas para los circuitos impresos, las cuales albergan las etapas o módulos que interactúan entre sí, mediante las cuales el microcontrolador es capaz de gobernar a dicho microbot.

El microrrobot se conforma por los siguientes módulos:

- Módulo de Control.
- Módulo de Sensores.
- Módulo de Potencia.

2.3.1 Módulo de Control

El módulo de control utilizado consta de un circuito impreso con el PIC16F84A embebido. Esta tarjeta fue diseñada para una función dual, ya que, por un lado, permite la programación del PIC; y por otro lado permite ejecutar el programa grabado. Esta dualidad de la tarjeta de programación y de ejecución, nos evita la molestia que implicaría tener la tarjeta de grabación y la del microbot por separado. Asimismo, dicha etapa se puede utilizar para fines didácticos, ya que puede ser empleada para otro tipo de proyectos o para ampliar las funciones del robot, esto es debido a que el módulo tiene un cable plano de 26 pines, el cual se puede conectar a diferentes circuitos, los que pueden ser de sensores, de interfaz o de potencia.

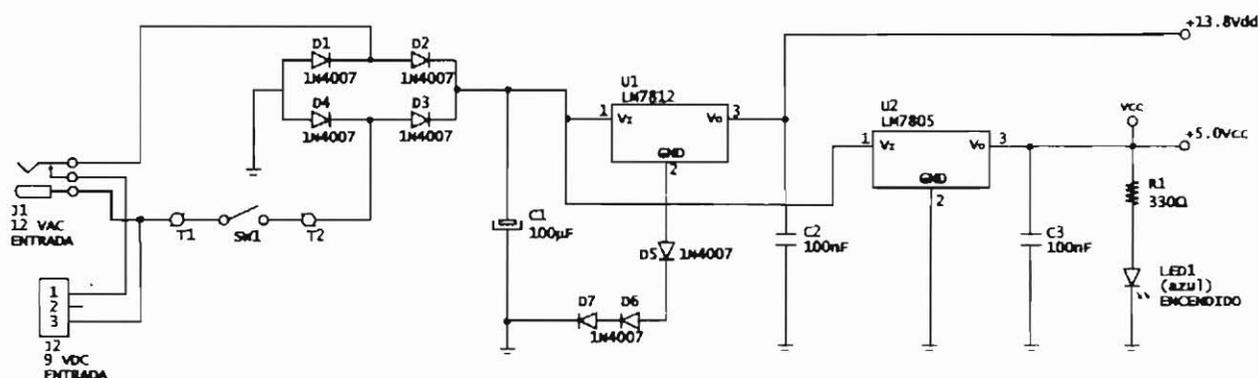


Figura 2.8 Diagrama esquemático de la Fuente de Alimentación

La tarjeta del módulo de control tiene una fuente integrada, Fig. 2.8, la cual se alimenta con una batería de 9 V_{CD} o con un transformador de 12 V_{CA}. El transformador se emplea en el modo de grabación del microcontrolador, ya que se necesita un voltaje de corriente directa

abierto mantiene este estado en su señal de salida, lo que ocasiona una conducción de emisor a colector en el transistor PNP Q1, estableciendo el voltaje de grabación deseado a través del diodo D8 hacia la entrada del MCLR. Si la señal de control es un "1" lógico, el *buffer* conduce y polariza la base de Q1, esta polarización bloquea la conducción de emisor a colector de dicho transistor, permitiendo que el voltaje V_{cc} ($5 V_{CD}$) esté presente en el MCLR a través de D9.

Cuando se presiona PB1 el MCLR reinicia cualquier actividad que esté realizando el microcontrolador. En conclusión, mientras Q1 conduzca, al microcontrolador se le indica que está en fase de grabación. Cuando sea V_{cc} el que esté presente en el MCLR el microcontrolador estará ejecutando el programa grabado; y cuando MCLR sea aterrizado se reinicia la ejecución de la actividad en proceso.

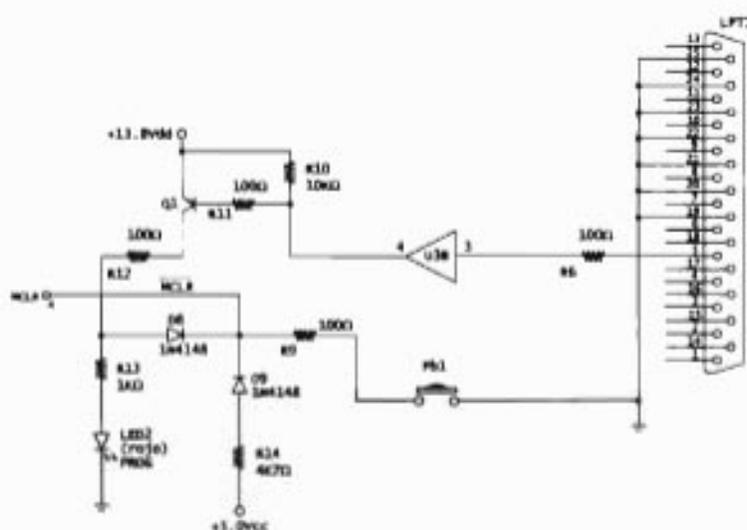


Figura 2.10 Diagrama para la activación del voltaje de programación

2.3.2 Módulo de Sensores

El módulo de sensores, Fig. 2.11, está diseñado para poder conectar un máximo de cinco entradas de sensado hacia el microcontrolador mediante RB0 a RB3 y RA4 (temporizador); los sensores requeridos pueden ser ópticos o mecánicos, los cuales deben trabajar con valores lógicos de 1 o 0. También se habilitaron las líneas RB4 a RB7 para utilizarse como entradas o salidas digitales; en el caso que éstas líneas sean entradas, se podrán conectar en ellas sensores de tipo capacitivo, magnético, ultrasónico, óptico, etc., siempre y cuando tengan su señal adaptada a valores lógicos TTL mediante etapas intermedias diseñadas o de fábrica. Lo anteriormente descrito fue pensado con la finalidad de poder incrementar a futuro las tareas a realizar con el microbot, lo cual proporciona una gran versatilidad para desarrollar otro tipo de proyectos.

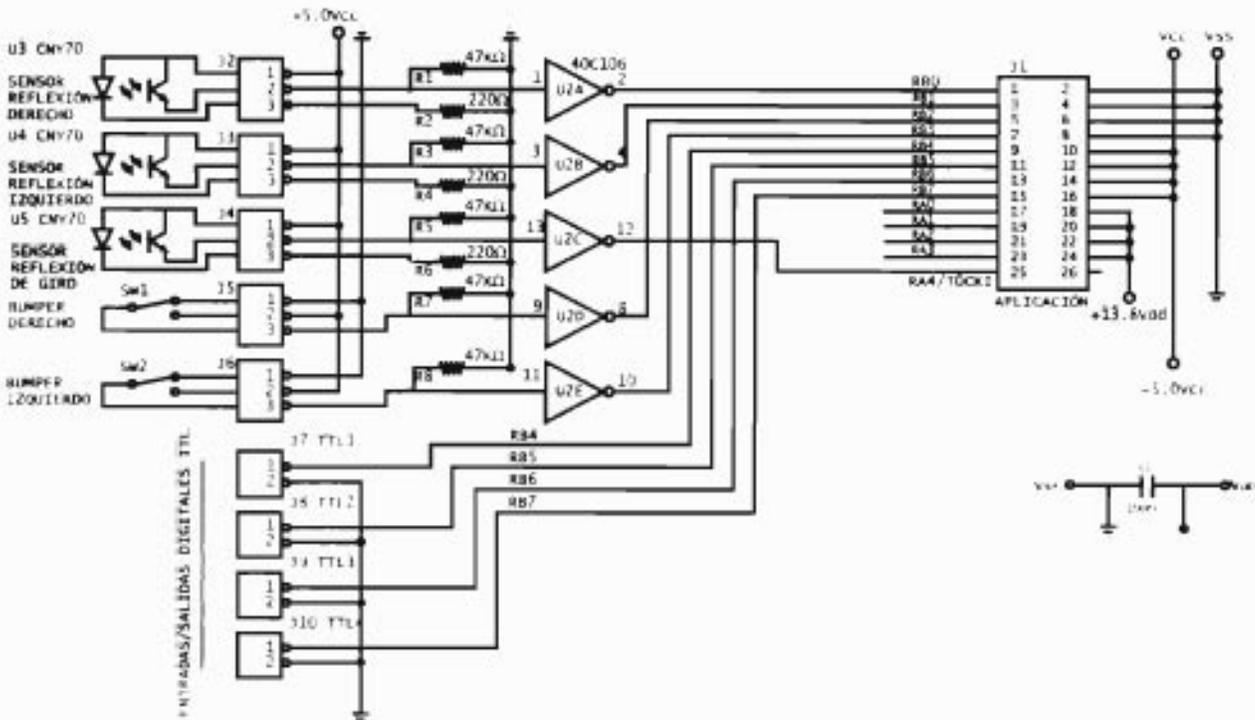


Figura 2.11 Diagrama del módulo de sensores

En el diseño implementado sólo se ocupan los dos primeros sensores optoelectrónicos CNY70, los cuales tienen a su cargo la delicada tarea de diferenciar una superficie blanca entre una negra. En el circuito, la señal de salida de cada sensor se conecta un inversor del tipo *Schmit-Trigger* (40C106), con el cual se garantiza un valor lógico de "1" o "0" estable, presente en las líneas 1 y 3 del conector J1, que a su vez es conectado a la tarjeta de control mediante un cable plano de 26 líneas, con lo que se logra enviar las señales provenientes de los sensores a las entradas RB0 y RB1 del PIC, logrando que el microcontrolador conozca el estado de salida de cada sensor.

2.3.3 Módulo de Potencia

En el módulo de potencia, Fig. 2.12, como podemos observar, los motores derecho e izquierdo están conectados al manejador dual bidireccional para motores (L293B). Además en el circuito tenemos que las líneas 17 y 19 del conector J1 interconecta las salidas RA0 y RA1 del microcontrolador a las entradas 7 y 2 del manejador respectivamente, con el fin de controlar el sentido del giro del motor derecho; lo mismo podemos decir con respecto a las salidas RA2 y RA3 que están unidas con las entradas 15 y 10 del L293B respectivamente, pero en este caso es para controlar al motor izquierdo.

El siguiente esquema, Fig. 2.14, es el correspondiente a los módulos de potencia y sensado.

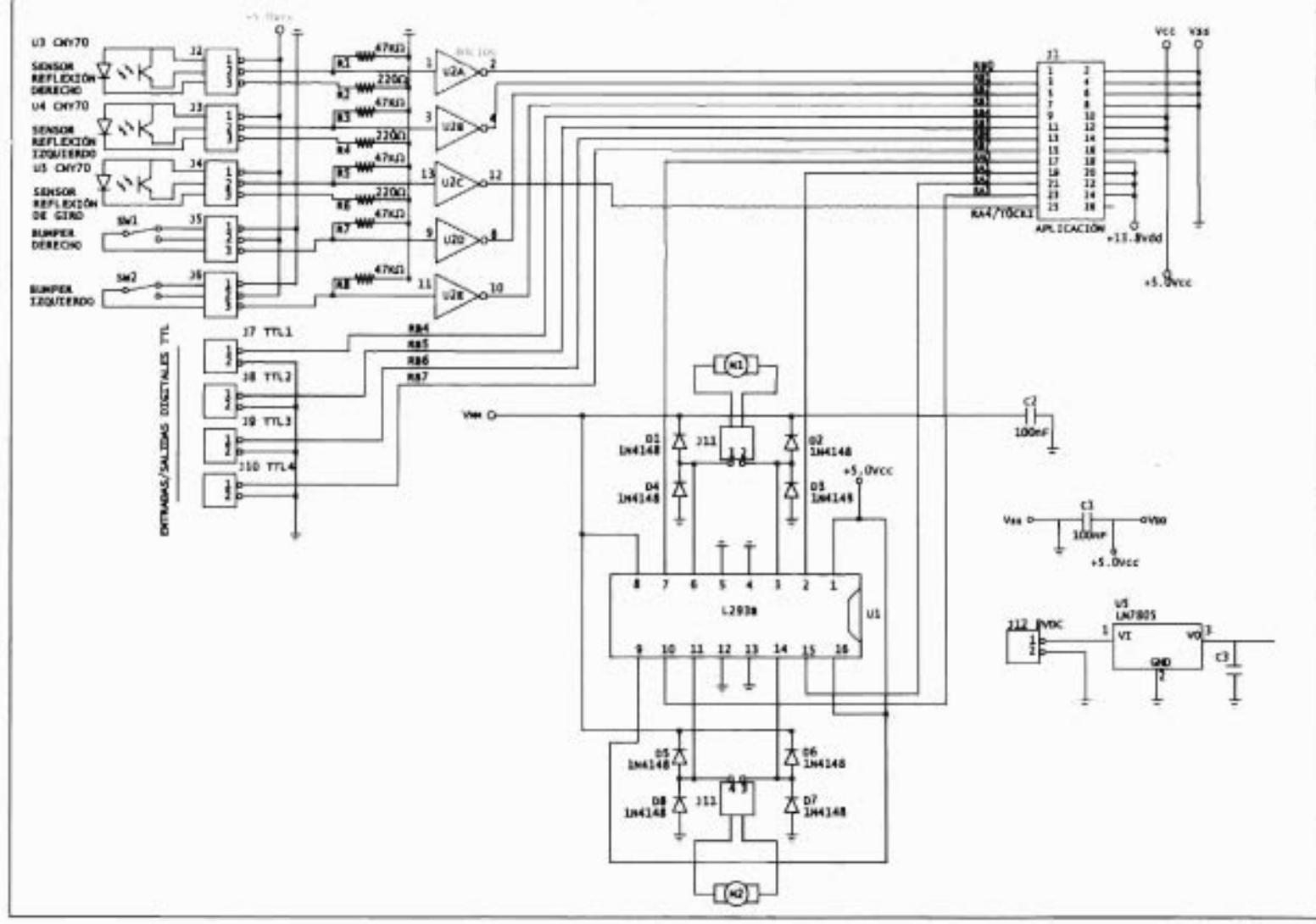


Figura 2.14 Esquema de la Tarjeta 2

2.4 Construcción de la Plataforma y Sistema de Control de Dirección

La plataforma es una parte primordial en el desarrollo de nuestro proyecto, ya que de ésta depende cuan estable y veloz pueda ser el robot. Lo primero es definir el tipo de sistema de control de dirección, donde de la gran variedad existente se escogió el diferencial tipo tanque; para éste se necesitará colocar dos motores al frente y un punto de apoyo sujetado en la parte posterior de la plataforma. Se usa un poste de apoyo en lugar de orugas a los lados, con el objeto de disminuir la fricción; aparte de que tres puntos de apoyo son el mínimo necesario para que la plataforma sea estable. Otros sistemas de control de dirección como el sistema que utiliza un coche son más complejos, desde el punto de vista mecánico y de control eléctrico, que el propuesto para nuestra proyecto.

Ahora se necesita conocer las dimensiones de los componentes utilizados, tanto de los motores como de las tarjetas, sensores, baterías e interruptores; y una vez conocidas éstas se dispone la ubicación de los elementos en una superficie rectangular Fig. 2.15.

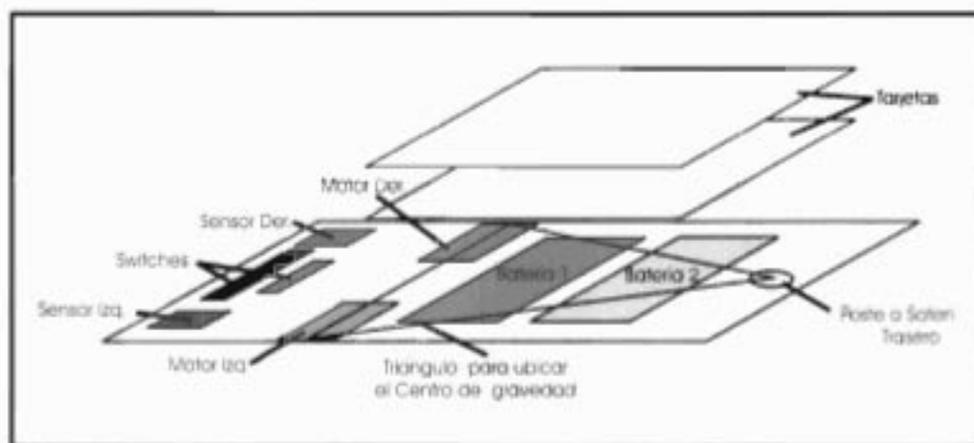


Figura 2.15 Ubicación de los componentes dentro la base.

La forma que adquirió la plataforma fue planeada tomando en cuenta la distribución del peso de los componentes que soporta; y considerando también cierta estética, Fig. 2.16. Una vez definida la forma se dan las medidas reales para la disposición planeada de las componentes. En todo caso lo más importante es la funcionalidad de la plataforma.

Los sensores optoelectrónicos se sitúan en la parte delantera de la plataforma, ya que así se detectará más eficientemente cualquier cambio en la dirección de la línea; los interruptores al ser livianos y no afectar el centro de gravedad se colocan entre los sensores. Las baterías y las tarjetas son colocadas sobre el área del triángulo de centro de gravedad, lo cual le da al diseño una estabilidad óptima. Las tarjetas van sujetadas en cuatro postes, uno a cada esquina de ellas, éstos se pueden ver en la Fig. 2.17.

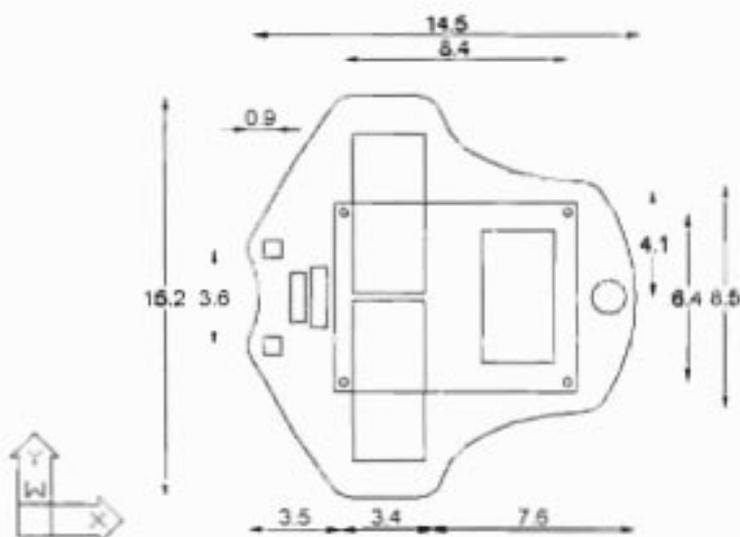


Figura 2.16 Forma final y disposición de los componentes del microbot DEEPLINE; las dimensiones están dadas en cm.

La construcción* se realizó en fibra de vidrio por ser un material ligero y resistente para nuestra aplicación, aparte de la facilidad de modelado y manejo que presenta.

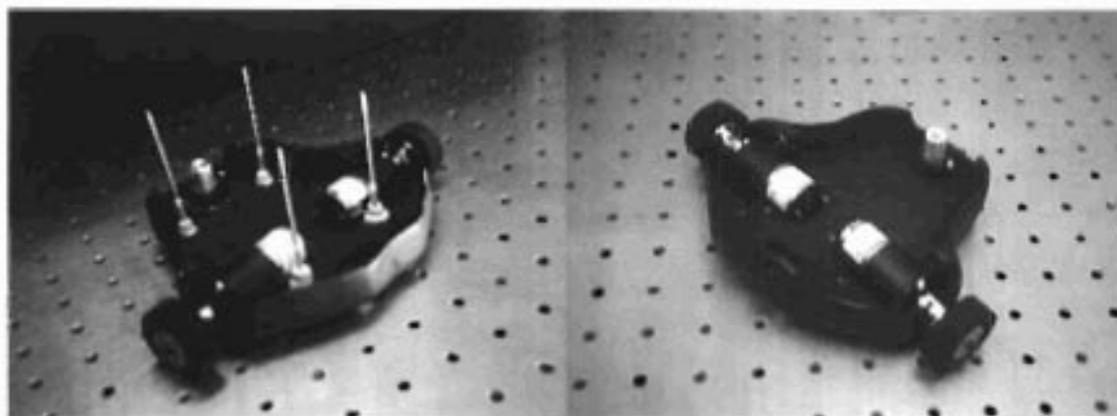


Figura 2.17 Fotografías de la plataforma, donde se pueden apreciar: Los motores, el poste de apoyo; y los cuatro postes de soporte de las tarjetas

* Para más información ver el Apéndice A.

2.5 Programación

En la realización del programa [15] del microcontrolador PIC16F84A, primero se debe de tener bien claro la labor que realizará el microbot, que en nuestro caso específico es seguir una línea. Por lo cual se deben establecer los estados de salida deseados en el programa, de acuerdo a los posibles estados de entrada proporcionados por los sensores.

2.5.1 Estructura del Programa

En la siguiente tabla se observan los estados lógicos de las líneas RB1 y RB2, así como la dirección en la cual se moverá el robot, como consecuencia de dichos estados.

Tabla 2.2

	Edo. Lógico inicial	Edo. Lógico 1	Edo. Lógico 2	Edo. Lógico 3
Sensor 1 (RB0) Der.	1	0	1	0
Sensor 2 (RB1) Izq.	1	1	0	0
Movimiento	Avance	Giro a la derecha	Giro a la izquierda	Avance

Al conocer los estados lógicos de las señales de entrada presentes en RB0 (sensor derecho) y RB1 (sensor izquierdo) representados en la Tabla 2.2, se comienza a desarrollar el diagrama de flujo, Fig. 2.18, de acuerdo a las decisiones que se pueden encontrar a partir de las 4 posibles combinaciones de los valores presentes en RB0 y RB1.

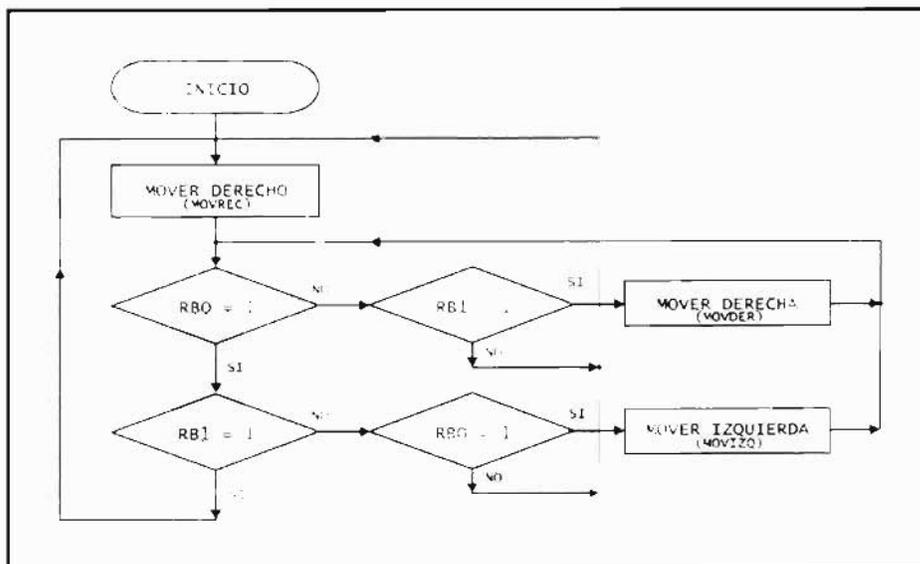


Figura 2.18 Diagrama de flujo del programa principal

Para realizar dicha labor las entradas RB0 y RB1 se monitorean constantemente para conocer el estado presente en todo momento y saber si existe algún cambio en su estado inicial. En la subrutina MOVDER se detecta si RB0 cambia de "1" a "0"; si dicho cambio es detectado se mantiene el sentido de giro inicial del motor 2 y se invierte el sentido de giro del motor 1, provocando que el microbot se mueva a la derecha. Cuando sucede el mismo cambio en RB1 se accede a la subrutina MOVIZQ, con la cual se mantiene el sentido de giro inicial del motor 1, mientras el sentido del motor 2 se ve invertido; con lo que se genera un desplazamiento hacia la izquierda. Cuando el estado lógico presente en RB0 y RB1 es igual, se accede a la subrutina MOVREC, Fig. 2.19, la cual moverá los motores en el sentido de giro inicial, ocasionando que el microbot avance en línea recta.

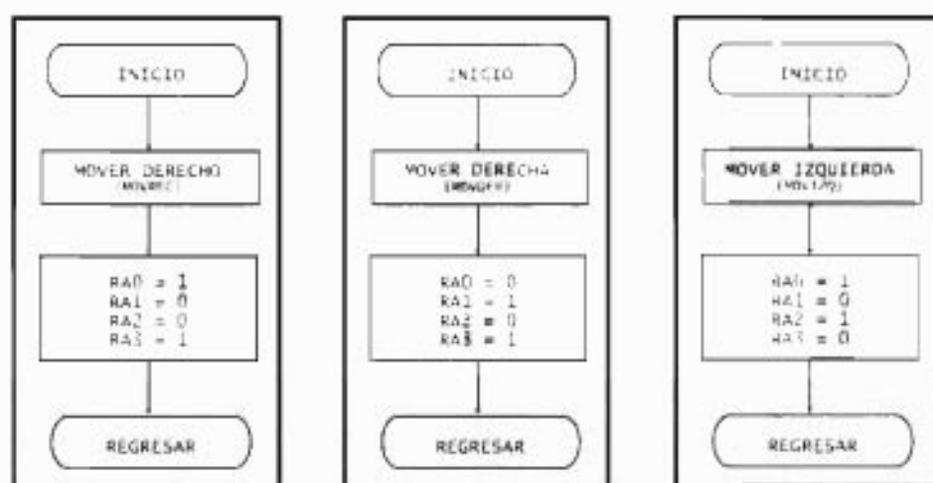


Figura 2.19 De izquierda a derecha a), b), y c), diagramas de flujo de las subrutinas para: Avance, giro a la derecha y giro a la izquierda del microbot, respectivamente

2.5.2 Programa del Seguidor de Línea (DEEPLINE)

Una vez que se tienen los diagramas de flujo bien definidos, tanto del programa principal como de las subrutinas, se puede comenzar a escribir el programa en lenguaje ensamblador del microcontrolador; en nuestro caso dicho programa comienza con la declaración del PIC a utilizar; y enseguida se incluye la librería correspondiente a nuestro PIC mediante el archivo PIC16F84A.INC. En este archivo se encuentran declaradas las variables predeterminadas de los registros SFR que se utilizan en el mismo, como lo son:

- El Registro de Estado (*Status*), el cual se utiliza para poder acceder a los registros del banco 0 y 1.
- TRISA y TRISB, en estos registros se declara la palabra de control para los puertos A y B respectivamente, para ser programados como entradas o salidas.

Las etiquetas PORTA y PORTB sustituyen a dichos registros cuando se trabaja con el banco 1.

- o PORTA y PORTB son los registros correspondientes a los puertos programables de entrada y/o salida. Las etiquetas PORTA y PORTB sustituyen a dichos registros cuando se trabaja con el banco 0.
- o El acumulador de trabajo es W.
- o RP0, hace mención al bit 5 del registro de estado (*Status*).

Por último el programa está conformado por la rutina principal Fig. 2.18, y las subrutinas MOVREC, MOVDER y MOVIZQ (Figs. 2.19 a, b y c) previamente descritas, quedando de la siguiente forma:

```

list    p=16F84A    ;tipo de dispositivo
include "P16F84A.INC"

ORG 0        ;vector de inicio

goto INICIO

;inicio del programa

ORG 5

INICIO:    bcf    STATUS,RP0
           clrf   PORTA

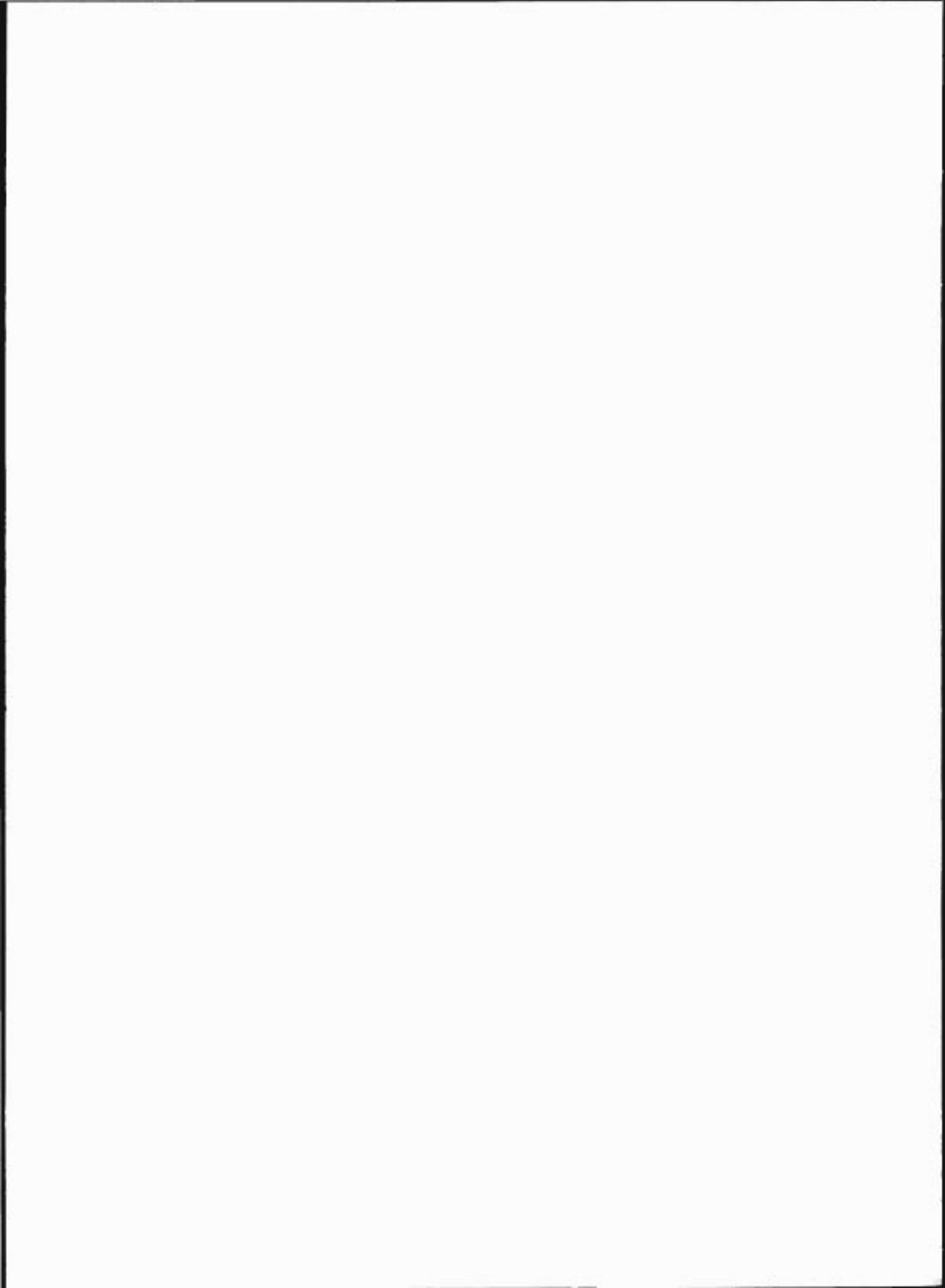
           bcf    STATUS,RP0
           clrf   PORTA
           movlw  b'00010000'    ;se configura los bits PORTA
           movwf  PORTA          ;como SALIDA excepto RB4
           clrf   PORTB
           movlw  b'11111111'    ;se configura el PORTB
           movwf  PORTB          ;como entrada
           bcf    STATUS,RP0

MAIN:      call   MOVREC          ;avanzar
LEER:      btfsz  PORTB,0
           goto  MOVDER          ;mover derecha
           btfsz  PORTB,1
           goto  MOVIZQ         ;mover izquierda
           goto  MAIN

MOVDER:    btfsz  PORTB, 1        ;se modifican los valores para
           goto  MAIN            ;que se invierta el sentido del
           bcf    PORTA, 0        ;motor derecho
           bsf    PORTA, 1
           goto  LEER

MOVIZQ:    btfsz  PORTB, 0        ;se modifican los valores para
           goto  MAIN            ;que se invierta el sentido del
           bsf    PORTA, 2        ;motor izquierda
    
```

```
        bcf  PORTA, 3
        goto LEER
MOVREC:  bcf  PORTA, 0      ;configuración de las salidas
        bcf  PORTA, 1      ;para avanzar
        bcf  PORTA, 2
        bcf  PORTA, 3
        return
END
```



Capítulo 3

Resultados

En este capítulo se discuten y se analizan los resultados de este proyecto de tesis, cuyo objetivo principal fue el diseño y construcción de un microbot seguidor de línea mediante la aplicación de un microcontrolador con tecnología FLASH. Se discuten las ventajas sobre la utilización de los elementos en la implementación del proyecto; y se hacen algunas observaciones y recomendaciones relevantes sobre el diseño del microbot.

3.1 Discusión y Análisis de Resultados

Ya que el microcontrolador desempeña la función principal para programar la tarea que realiza el robot, se seleccionó el PIC16F84A, entre otros de 8 bits y de características similares por las siguientes razones:

- Simplicidad de uso, gracias a un conjunto de 35 instrucciones de programación.
- Uso de tecnología FLASH.
- Bajo costo frente a otros microcontroladores con tecnología FLASH.
- El número de líneas E/S programables son suficientes para el proyecto.
- *Software* gratuito para la edición del programa.
- *Software* gratuito para la grabación del dispositivo.
- Se puede construir fácilmente la tarjeta de grabación.

La aplicación de un microcontrolador de tecnología FLASH nos permitió probar el programa fuente cuantas veces fue necesario durante la fase de desarrollo del *software*, directamente con el *hardware* de la tarjeta de control diseñada; y así lograr depurar el programa sin la necesidad de simulaciones en la PC. Además, cabe mencionar que la tecnología FLASH de MICROCHIP es de gran importancia desde el punto de vista económico; ya que por ejemplo, en el caso de los microcontroladores MOTOROLA adquirir este tipo de tecnología resulta más costoso.

El poder construir nuestra propia tarjeta de grabación (característica de los microcontroladores de MICROCHIP), ofrece un gran número de ventajas, comenzando por el

costo; otra es el poderla diseñar y construir de acuerdo a nuestras necesidades. En nuestra aplicación la tarjeta de grabación es parte integral del microbot, evitando el tener que estar cambiando el microcontrolador del zócalo de grabación al de prueba, lo cual podría ocasionar daños físicos irreparables en el dispositivo. Es importante mencionar que dicha tarjeta se conecta con la tarjeta de sensores y de potencia mediante un cable plano de 26 líneas, lo que significa que ésta actúa a la vez como tarjeta de control; y gracias a esta característica, el microbot se puede ampliar o modificar según se requiera a futuro, pero también se puede utilizar la tarjeta para diferentes proyectos, o con fines educativos.

En la etapa de potencia se utilizó el controlador L293B, con el cual se manejan los motores utilizados para el sistema de dirección motriz. Se optó por usar este integrado después de realizar una comparación con un puente H armado con transistores ó con amplificadores operacionales. Las ventajas más destacables del L293B frente a las opciones antes descritas son:

- Menor superficie de montaje.
- Menor costo.
- Ahorro del tiempo de armado del puente H.
- Simplicidad de uso.
- Menor consumo de energía.

Los motores utilizados, los cuales están provistos de un sistema reductor de velocidad mediante engranajes, son ideales para nuestra aplicación, puesto que ofrecen el torque necesario para mover el microbot; y además producen una velocidad moderada para que éste realice su tarea eficientemente. También debido a su reducido tamaño permiten gran flexibilidad en su montaje; y ofrecen un bajo consumo de corriente en comparación con otras opciones de uso, como los motores comerciales utilizados en las grabadoras o pequeños autos de juguete [16]. Estos últimos no poseen el reductor de velocidad y su implementación hubiera resultado complicada. Por otro lado la utilización de un reductor mediante ligas es menos efectivo. En los motores utilizados la corriente consumida sin carga a $9 V_{CD}$ es aproximadamente de 92 mA; y el costo de dichos motores es superior al de un motor convencional debido a su sistema reductor de velocidad integrado.

El CNY70 es un óptimo sensor de reflexión de luz para la tarea que desarrolla el microbot; el rango de sensado es desde una distancia mínima de 0.3 mm hasta una máxima de 10 mm. Gracias a su empaque en forma de cubo, donde están contenidos el emisor y receptor infrarrojos, permitió un fácil montaje en la carcasa del microbot. En el caso de haber utilizado un par emisor receptor por separado, se hubieran tenido problemas para encontrar el ángulo de separación entre ambos para distancias cortas (hasta 1 cm); y hubiera sido necesario construir un encapsulado o encontrar alguna otra forma de montarlo en el robot. La alimentación de este sensor es a $5 V_{CD}$ y su señal de salida es entregada en niveles lógicos TTL, lo que implica que es

ideal para comunicarse con dispositivos digitales de señales TTL. Las fuentes de luz externas prácticamente no afectan al El CNY70, gracias nuevamente a la manera en que se encuentra encapsulado y al buen filtro que posee.

En el diseño del chasis al contar con un poste en lugar de una "rueda loca", le dio al sistema motriz mejor respuesta, estabilidad y movilidad; estas características también dependieron de la buena distribución del peso, mediante la óptima colocación de los elementos que componen al robot. Así, el considerar tres puntos de apoyo en lugar de un sistema de cuatro ruedas tiene ventajas físicas y electrónicas:

- Menor uso de elementos eléctricos y electrónicos.
- Menor fricción.
- Menor peso.
- Ahorro en el consumo de energía.
- Mejor respuesta del sistema al girar.

Al tener dos fuentes de alimentación, una para suministrar la energía a los elementos electrónicos de los módulos de control, sensores y potencia (batería 1); y otra para los motores (batería 2), ayuda a mantener más tiempo en funcionamiento el robot. Otra ventaja de tener dos fuentes de alimentación es la de aislar los módulos de los picos de corriente que generan los electromotores, los cuales a su vez son minimizados por un puente rectificador de diodos (Fig. 2.12).

3.2 Caracterización y Prueba del Microbot

Como se mencionó en la sección anterior, tomando en cuenta que la alimentación eléctrica de los módulos de control es independiente del sistema motriz del microbot, las mediciones realizadas del consumo de corriente arrojaron los siguientes resultados:

- El consumo total de corriente de los módulos fue de 86.5 mA a 9 V_{CD}.
- El consumo total de corriente del sistema motriz, con el peso neto del robot (530 g), fue de 176 mA a 9 V_{CD}.

Por lo tanto se estimó que al utilizar un par de baterías de 9 V_{CD}, capaces de almacenar, cada una, una carga máxima de de 160 mA-h, entonces el robot se mantiene funcionando alrededor de 55 minutos en forma autónoma.

En la Fig. 3.1 se muestra la gráfica de consumo de corriente vs. carga. En ella, las coordenadas del punto inicial A, indican los valores de la masa intrínseca del microbot y la

corriente que consume su sistema motriz. El punto final B representa los valores de la masa máxima de carga colocada sobre el robot y la corriente que consumen los motores. Es importante mencionar que el consumo de corriente de un motor cuando se asegura; esto es, cuando no se mueve el eje, es de 2.05 A; de acuerdo a los datos proporcionados por el distribuidor [17].

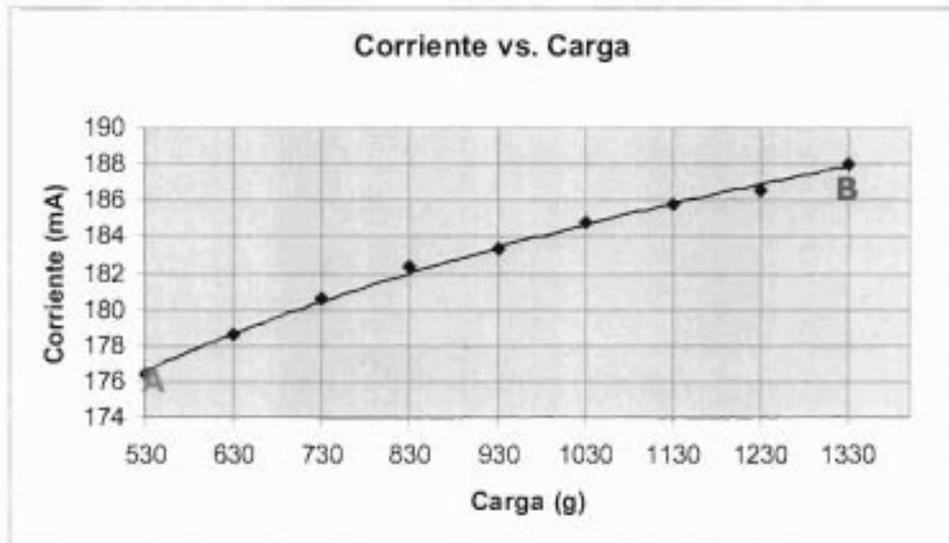


Figura 3.1 Consumo de corriente del sistema motriz vs. carga del robot

En la Fig. 3.2 se muestran dos vistas del microrrobot totalmente armado, pudiéndose apreciar los elementos físicos que lo conforman.

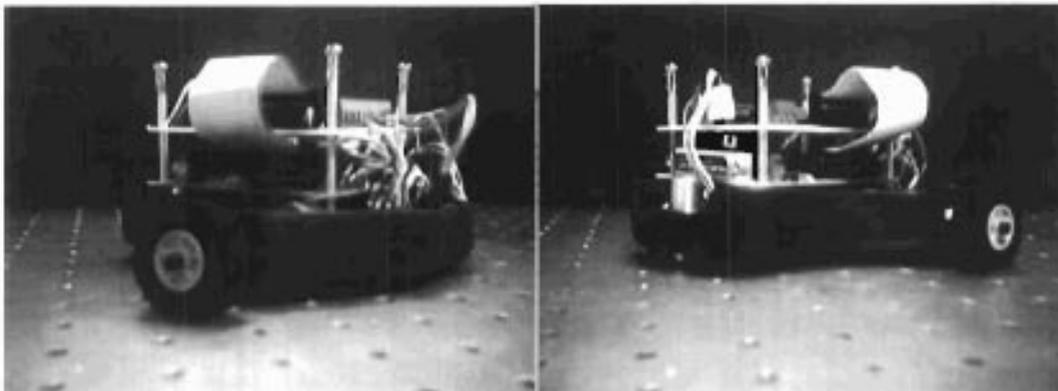


Figura 3.2 Fotografías del microrobot terminado

3.3 Observaciones y Recomendaciones

Si la velocidad del desplazamiento del robot disminuye notoriamente entonces se recomienda apagarlo, ya que este es un signo de que la batería que alimenta al sistema motriz se agotó y es necesario volver a recargarla.

También se recomienda que cuando se vaya a grabar el programa fuente en el PIC se desconecte antes el cable plano de 26 líneas que conecta las dos tarjetas entre sí, a fin de evitar accidentes; por la puesta en funcionamiento del microbot cuando se termina la programación, y una vez grabado el PIC, se debe apagar el robot, para conectar el cable plano, y poder poner en funcionamiento nuevamente el robot.

3.4 Página Web

Se diseñó y creó una página web, con el propósito de contar con un medio más para la difusión de tesis, así como iniciar un espacio de consulta propio de la Facultad de Ciencias sobre temas inherentes a la Ingeniería en Electrónica de nuestra Facultad, en este caso sobre robótica; teniendo como principal ventaja el fácil acceso para realizar consultas desde cualquier computadora con *internet*.

En la página *web*, Fig. 3.3, se encuentra el documento completo de la tesis en lenguaje html, con un diseño amable, sencillo y simple para navegar dentro de ésta. La página desplegada consta de tres cuadros "*frames*"; localizándose en el lado izquierdo la barra principal de navegación del sitio, con los diferentes temas que constituyen la tesis. En el la parte superior se encuentra el cuadro con el título de la página "Microbot seguidor de línea *DEEPLINE*", estos dos cuadros nunca cambiarán; ya que esta característica de dos cuadros fijos permite descargar las páginas más rápido, mientras en el cuadro mayor "central" se despliega la información correspondiente al tema de consulta.

Con el fin de hacer una interfaz amable se creó una animación previa al despliegue de la página principal; y en conclusión se espera innovar la manera de consulta y difusión de los proyectos tesis.

Finalmente, en el Apéndice C, se desglosa el listado de componentes electrónicos y otros elemento indispensables en la construcción del microbot.



Figura 3.3 Imagen de la página Web

Conclusiones

Conclusiones

La elección del PIC16F84A resultó ideal para nuestra aplicación por sus características, al proporcionar las líneas E/S necesarias para el desarrollo del proyecto, además ofrece un lenguaje de programación sencillo, eficiente y pequeño, el cual consta de 35 instrucciones. Otra de las características importantes que cabe resaltar de este microcontrolador es que resulta ideal para sistemas alimentados por baterías, gracias al bajo consumo de energía de 2 mA a 5 V_{CD}; y a una velocidad de 4 MHz [6].

Sin duda alguna la velocidad de operación del PIC, aunado a la buena velocidad de respuesta de los demás elementos como: Los sensores, los motores; y los circuitos integrados 40C106 y L293B, constituyen un sistema de rápida acción al detectar la línea blanca. Por lo cual se puede decir que la detección de la línea se ejecuta prácticamente de manera instantánea. Por esto se hace mención que la selección en general de los componentes electrónicos fue la ideal, ya que todos son capaces de trabajar con una alimentación de 5 V_{CD}; además de trabajar con señales de control lógicas digitales tipo TTL.

Con respecto al diseño del chasis, cumplió su función de albergar todos los componentes electrónicos, mecánicos y electromecánicos, que constituyen al robot, así como la distribución uniforme de estos, por lo cual se obtuvo un chasis estable. También, gracias a la disposición de una tracción delantera y el punto de apoyo posterior, el robot se puede mover con facilidad en superficies lisas como papel, metal, o en superficies comunes como el vitropiso del interior de las casas. Esto es posible en gran parte al diseño del poste de apoyo trasero mencionado, el cual posee un sencillo sistema de amortiguación; y aunado al excelente torque proporcionado por las cajas reductoras de velocidad de los motores empleados.

Si se hace la consideración de inscribir el *DEEPLINE* en algún concurso de seguidores de línea, habría que hacer modificaciones tanto físicas como en la programación, de acuerdo a las bases de participación; como sería el caso de ALCABOT [19], concurso que realiza anualmente la Universidad de Alcalá, España, el cual es uno de los mas prestigiados.

Algunos de los puntos más generales que típicamente se deben cumplir para la participación en concursos de microbots son:

- Tamaño de la base o chasis del robot; por lo general es de 30 cm. x20 cm. como máximo.
- Altura no limitada.
- Peso, según el tipo de prueba, estará o no limitado.
- El tipo de actividad a desarrollar y el modo de realizar la prueba está rigurosamente establecido en las convocatorias. Lo que significa que ésta se debe realizar de una sola forma.

Por último si se pensara hacer una miniaturización mayor del microrrobot, se tendría que eliminar el CI 40C106 y conectar directamente los sensores CNY70 a las líneas digitales de E/S del PIC. Pero esto es posible gracias a la baja corriente que entregan, la cual no es mayor de los 25 mA, que es el máximo valor de la corriente permitida en cada línea de entrada del microcontrolador. Esta miniaturización del diseño incluiría eliminar la tarjeta de grabación integrada, más no el manejador L293B, ya que el consumo de los motores exige más corriente de la que es capaz de entregar el PIC por cada línea de salida. En consecuencia las modificaciones anteriormente mencionadas se traducirán en una disminución de peso y menor consumo de corriente; por lo cual se podrá alimentar el robot con una sola batería, teniendo en cuenta que esto significará un menor tiempo de funcionamiento del robot. Y todo lo anteriormente mencionado se traduce en un robot no expandible.

Finalmente, con respecto a la propuesta de contar con un espacio de consulta actual y eficiente sobre temas concernientes a la Ingeniería Electrónica y Robótica en nuestra Facultad de Ciencias, se diseñó y creó un documento completo de esta tesis en lenguaje html para una página *Web*. Con esto se pretende innovar la manera de consulta y difusión de los trabajos de tesis.

Bibliografía

- [1] Antecedentes de la robótica:
www.cpr2valladolid.com/tecno/cyr_01/robotica/historia.htm
- [2] Antecedentes de la robótica:
www.artehistoria.com/historia/contextos/3647.htm
- [3] Enciclopedia en la web:
www.wikipedia.com
- [4] PIC microcontroller project book.
John Iovine.
Mc Graw Hill, 2000.
Pag. 1, Cap. 1.
- [5] Programing and customaizing the 8051 microcontroller.
Myke Predko.
Mc Graw Hill, 1999.
Cap. 1.
- [6] www.microchip.com
- Allí se encuentra toda la información necesaria sobre el PIC16F84A.
- Quick start guide, MPLab v6.xx
MICROCHIP, 2003.
- [7] Easy Pic'n.
David Benso.
Square 1 Electronics, 1997.
Version 3.1, Cap. 1.
- [8] Electricidad.
Harry Mileaf.
Limusa, 1985.

Bibliografía

Vol 6, serie uno siete.

Pag. 98.

[9] Manual de control de motores eléctricos.

Gilberto Enriquez Harpener.

Dirección general de educación tecnología e industria. SEP, 1999.

Cap. 3.

[10] Documento sobre diseño de engranajes y reductor de velocidad:

<http://ares.unimet.edu.ve/mecanica/fpim16/ENGRANAJES.PDF>

[11] Electronic circuit guide book, Vol. 1 y 4.

Joseph J. Carn.

Prompt publications, 1997.

Vol. 1, Cap. 7.

Vol. 4, Cap. 3, Pag. 63-65, y Cap. 9, Pag. 205.

[12] www.vishay.com

[13] www.st.com

[14] <http://library.solarbotics.net>

[15] PIC'n up the pace, PIC microcontroller applications guide.

David Benson.

Square 1, 1999.

[16] www.x-robotics.com

[17] www.lynxmotion.com

[18] www.iespana.es/iabot/

Robot en el web

[19] <http://www.alcabot.com>

Información del concurso de microbots organizado por la universidad e Alcalá en España.

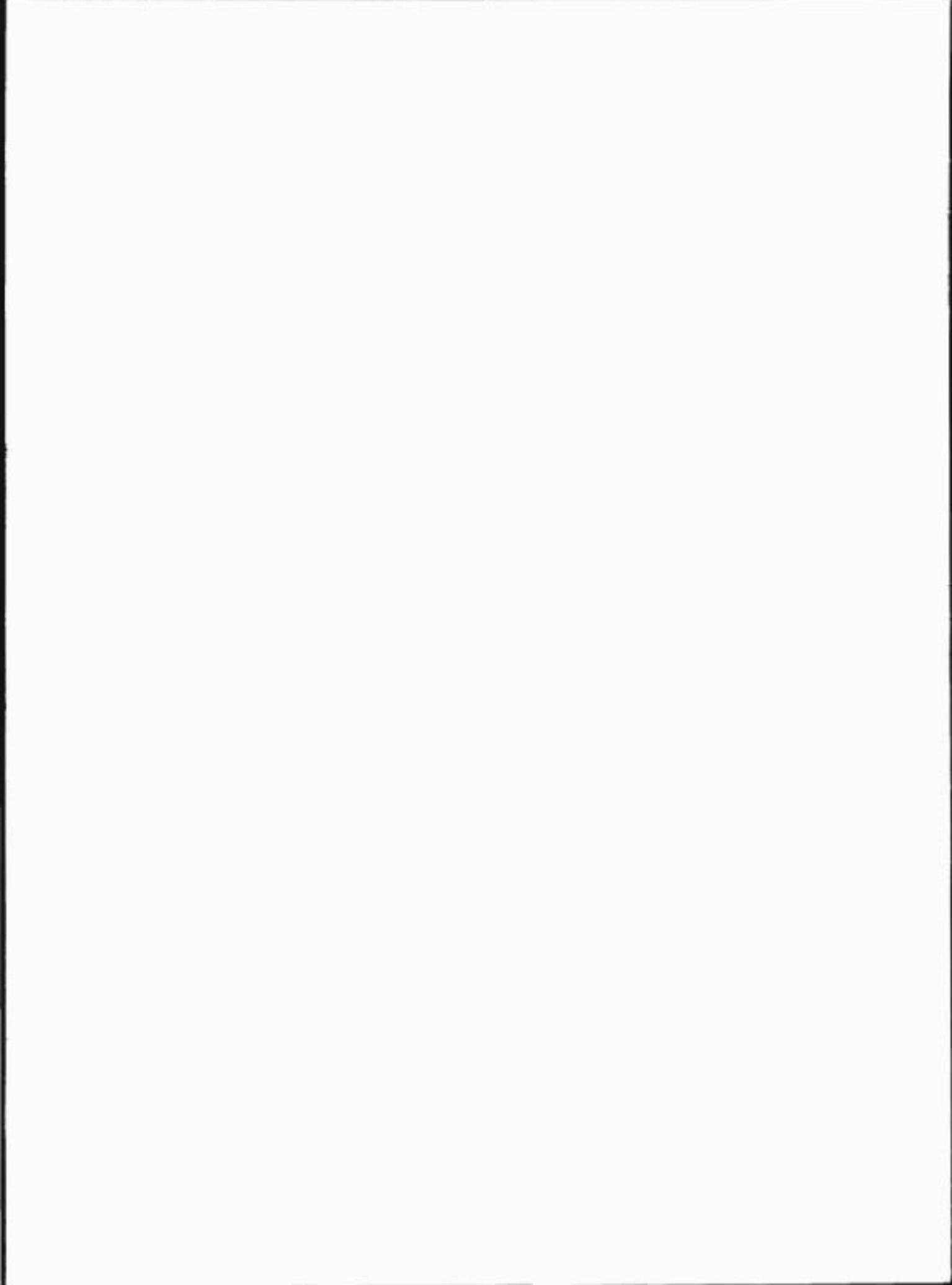
- Cinemática de las máquinas.
Guillet.
Cia. Editorial continental S.A. de C.V., 1981.
Cap. 2, 8 y 9.

- Teoría de máquinas y mecanismos.
Joseph Edward Shigley.
John Joseph Uicker, Jr.
Mc Graw Hill, 1988.
Cap. 7.

- Diseño en Ingeniería Mecánica.
Joseph Edward Shigley.
Charles R. Mischke.
Mc Graw Hill, 1990.
Cap. 13.

- Ingeniería Computacional, Diseño del hardware.
Morris Mano.
Prentice Hall, 1991.

- Principio de electrónica.
Malvino.
Mc Graw Hill, 2000.



Proceso de Modelado para la Plataforma

El primer paso para cualquier tipo de modelado o diseño de la plataforma es conocer las necesidades del espacio requerido por los componentes y objetos que se montarán. Después, de acuerdo a las necesidades, se traza en papel la idea para la distribución de los componentes; enseguida se corrobora este diseño con las medidas físicas de los elementos.

Una vez diseñada nuestra base acorde a las necesidades, se fabrica una MATRIZ*, con la cual es posible dar forma al material utilizado; por lo general se realiza con materiales blandos, los cuales son de fácil manejo como la plastilina, el yeso, el unicel, la madera, etc..

Una vez que la MATRIZ ha tomado la forma deseada se corrige de posibles fallas durante su moldeado y se aplica una capa de cera desmoldante seguida de una película separadora (mínimo 4 capas c/u); después del tiempo de secado pertinente se aplica GELCUAD, el cual es un recubrimiento para alisar las piezas (se prepara con el 1% de catalizador**). La siguiente capa que se aplica es de RESINA*** (sólo una capa).

En la parte final del proceso se aplica el material que tomará la forma de la matriz, con la cual se obtendrá el producto final, en nuestro caso fibra de vidrio. Para obtener un producto de calidad es necesario cortar los excedentes antes de la solidificación del material. Ya que el material empleado secó, éste se separa de la MATRIZ*; y para obtener un buen aspecto de la fibra se aplica GELCUAD o pasta automotriz.

Finalmente se hacen las muescas y/o taladros necesarios para el montaje de los componentes, generalmente se realizan con un taladro de mano "MOTOTOOL" con las brocas, fresas y discos necesarios.

*Es el positivo del producto.

**Químico para acelerar el proceso de gelado (solidificado).

*** Poliéster con catalizador.

Apéndice B

Diseño de Engranajes como Reductores de Velocidad

Un par de engranes que trabajan unidos se diseñan a partir de sus círculos primitivos o de paso, estos círculos son siempre tangentes entre sí. El diámetro de estos círculos se obtiene de multiplicar el módulo por la cantidad de dientes. El módulo se define como el tamaño de los dientes y para que dos engranajes trabajen juntos deben tener igual módulo. Se tiene entonces:

$$D_p = MZ$$

donde,

D_p: Diámetro primitivo o de paso

M : Módulo

Z : Cantidad total de diente, del engrane

Si se tienen dos engranes con velocidades de giro $n_1(\text{rpm}^*)$ y $n_2(\text{rpm})$ respectivamente, se pueden obtener unas relaciones de gran utilidad. Si los dos engranes van a trabajar juntos, en una unidad de tiempo ambos recorren la misma cantidad de metros, por ejemplo en un minuto ambos recorren:

$$n_1/n_2 = D_{p2}/D_{p1}; \text{ pero } D_p = MZ$$

entonces:
$$n_1/n_2 = Z_2/Z_1$$

Se puede obtener la relación de transmisión **i:1** como la cantidad de vueltas que debe dar el engrane motor para que el engrane conducido dé una vuelta. Por ejemplo, un reductor que disminuya a un cuarto la velocidad de giro tiene una relación **4:1**.

en general:
$$i = n_1/n_2 = D_{p2}/D_{p1} = Z_2/Z_1$$

*Revoluciones por minuto

De esta forma, un diseño de engranajes parte por definir el módulo y la relación de transmisión que se desea. Así, usando las relaciones anteriores se obtienen los diámetros de paso.

Otra forma que indica el tamaño de los dientes, es especificando el Paso diametral (dientes/pulgada); se obtiene de:

$$Pd = Z/Dp$$

Pd: Paso diametral

$$Pd = 1 / M$$

Y el diseño de los dientes, debe ser tal que en todo momento exista contacto entre el piñón (el engrane de menor diámetro) y la corona (el engrane de mayor diámetro). El perfil utilizado generalmente en los dientes del engrane es el de la envolvente de círculo; y en otros casos el de la cicloide**.

**Para mayor referencias sobre el tema visitar
<http://ares.uniet.edu.ve/mecanica/fpim16/ENGRANAJES.PDF>

Apéndice C

Listado de componentes y precios

Mercado nacional			
Descripción	Precio U.	Cantidad	Subtotal
Base 14 patas	\$ 5.00	2	\$ 10.00
Base 16 patas	\$ 5.00	1	\$ 5.00
Base 18 patas	\$ 8.00	1	\$ 8.00
Base para el robot	\$ 300.00	1	\$ 300.00
Baterías de 9 V, carga 160 mA/hr	\$ 90.00	2	\$ 180.00
Cable DB25 para impresora	\$ 25.00	1	\$ 25.00
Cable para alimentación (metro)	\$ 3.00	2	\$ 6.00
Cable plano de 26 líneas (metro)	\$ 5.00	0.2	\$ 1.00
Capacitores cerámicos (varios valores)	\$ 2.00	9	\$ 18.00
Capacitores electrolíticos	\$ 4.50	1	\$ 4.50
Cristal de 4 Mhz	\$ 20.00	1	\$ 20.00
Clemas de 2 conectores	\$ 6.00	5	\$ 30.00
Clemas de 3 conectores	\$ 8.00	6	\$ 48.00
CI 40C106	\$ 5.00	1	\$ 5.00
CI 7407	\$ 5.00	1	\$ 5.00
Conector para CA	\$ 5.00	1	\$ 5.00
Conector DB25	\$ 12.00	1	\$ 12.00
Conector de 26 líneas	\$ 6.50	2	\$ 13.00
Conector 4 líneas	\$ 3.50	1	\$ 3.50
Controlador L293B	\$ 45.00	1	\$ 45.00
Diodo 1N4148	\$ 1.50	10	\$ 15.00
Diodo 1N4007	\$ 1.50	7	\$ 10.50
Diodo led (rojo)	\$ 1.00	1	\$ 1.00
Diodo led (azul)	\$ 1.00	1	\$ 1.00
Interruptor 1 tiro 2 polos	\$ 4.00	1	\$ 4.00
Interruptor 2 tiros 2 polos	\$ 6.00	1	\$ 6.00
Microcontrolador PIC164F84A	\$ 75.00	1	\$ 75.00

Placa fenólica	\$ 25.00	1	\$ 25.00
Poste de soporte	\$ 50.00	1	\$ 50.00
Push boton	\$ 5.00	1	\$ 5.00
Regulador de voltaje LM78xx	\$ 5.50	2	\$ 11.00
Resistencias	\$ 0.20	22	\$ 4.40
Sensores CNY70	\$ 20.00	2	\$ 40.00
Tira doble de pines	\$ 15.00	1	\$ 15.00
Tira sencilla de pines	\$ 10.00	1	\$ 10.00
Transformador de 12 V	\$ 45.00	1	\$ 45.00
Transistor PNP BC547	\$ 4.50	1	\$ 4.50
Resistencias	\$ 0.20	22	\$ 4.40
Subtotal =			\$ 1,070.80
Mercado extranjero (USD)			
Descripción	Precio U.	Cantidad	Subtotal
Motores de CD con caja reductora	\$ 33.00	2	\$ 66.00
Llantas de Neopreno-1.5"D x 0.5"A (par)	\$ 8.00	1	\$ 8.00
Montura para el motor (par)	\$ 16.00	1	\$ 16.00
Hub universal de eje 4 mm (par)	\$ 16.00	1	\$ 16.00
			Subtotal = \$ 106.00

Los precios del mercado extranjero son en dólares americanos (USD), incluyen gastos de envío e importación.

EX LIBRIS



SISTEMA DE
BIBLIOTECAS
U.A.S.L.P.

No. DE REG.

FM1821