



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

IMPLEMENTACION DE CRIATURAS DE
BRAITENBERG EN ROBOTS MOVILES.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERIA EN COMPUTACION

PRESENTAN:

HERNANDEZ MOTE MAURICIO
PALLARES TREJO JUAN BERNARDO
TORRES CAMACHO VICENTE XELAJU



292565

MEXICO, D.F. MAYO 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

| | |
|--|----|
| Resumen | 1 |
| Capítulo 1. Antecedentes | |
| 1.1 Antecedentes. | 1 |
| 1.1.1 Mitológicamente | 1 |
| 1.1.2 Autómatas reales | 3 |
| 1.2 Los robots en el siglo XIX y XX | 5 |
| 1.3 Las Propiedades y características de un robot | 5 |
| 1.4 La robótica como herramienta del hombre. | 5 |
| 1.4.1 Robótica | 5 |
| 1.4.2 Automatización. | 6 |
| 1.4.3 Cibernética. | 7 |
| 1.5 Conceptos de inteligencia artificial | 7 |
| 1.5.1 Agente inteligente | 7 |
| 1.5.2 Tipo de agentes | 8 |
| 1.5.3 Teoría de los efectos | 9 |
| 1.6 Objetivos de la tesis | 9 |
| 1.7 Criaturas de Braitenberg | 10 |
| 1.8 Descripción de capítulos | 10 |
| Capítulo 2. Sensores | |
| 2.1 Transductores y sensores | 12 |
| 2.2 Tipos de sensores | 13 |
| 2.3 Fotoeléctricos | 14 |
| 2.3.1 Fotorresistencias | 14 |
| 2.3.2 Fototransistores | 15 |
| 2.3.3 Fotodiodo | 16 |
| 2.3.4 Detector de luz infrarroja | 17 |
| 2.4 Sensores piro eléctricos | 18 |
| 2.5 Sensores de contacto(Microswitch) | 18 |
| 2.6 Sensado del nivel de batería | 19 |
| 2.7 Sensor de sonido | 19 |
| 2.7.1 Micrófonos | 20 |
| 2.8 Shaft encoders | 21 |
| Capítulo 3. Motores y manejadores de potencia | |
| 3.1 Elementos motrices de los robots | 23 |
| 3.1.1 Actuadores neumáticos | 23 |
| 3.1.2 Actuadores hidráulicos | 24 |
| 3.1.3 Actuadores eléctricos | 24 |
| 3.1.3.1 Motores de corriente continua (dc) | 24 |

| | |
|--|----|
| 3.1.3.2 Motores de corriente alterna (ac) | 25 |
| 3.1.3.3 Motores paso a paso | 26 |
| 3.2 Interfaz con motores | 27 |
| 3.2.1 Puentes H | 27 |
| 3.2.2 Circuitos integrados manejadores de potencia | 28 |
| 3.3 Método de control de velocidad de motores de dc. | 29 |
| 3.3.1 Modulación por ancho de pulso(pwm, pulse width modulation) | 29 |

Capítulo 4. Prototipos

| | |
|---|----|
| 4.1 Diseño general | 30 |
| 4.1.1 Fuente de alimentación | 30 |
| 4.1.2 Sistema motriz | 31 |
| 4.1.2.1 Control de motores de corriente directa | 32 |
| 4.1.3 Sistema de control | 33 |
| 4.2 Prototipo I | 35 |
| 4.2.1 Arquitectura y diseño físico | 35 |
| 4.2.2 Sistema de sensado | 38 |
| 4.3 Prototipo II | 41 |
| 4.3.1 Arquitectura y diseño físico | 41 |
| 4.3.2 Sistema de sensado | 44 |
| 4.3.2.1 Los sensores de contacto | 44 |
| 4.3.2.2 El sensor de audio | 45 |
| 4.3.2.3 El sensor de movimiento | 46 |
| 4.3.2.4 Sensor de luz | 47 |
| 4.3.2.5 Sensor de nivel de batería | 48 |

Capítulo 5. Criaturas de Braitenberg

| | |
|---|----|
| 5.1 Criaturas simples | 49 |
| 5.1.1 Tímido (el buscador de la sombra) | 49 |
| 5.1.2 Manejable (el buscador de luz) | 50 |
| 5.1.3 Obstinado (evasor de obstáculos) | 52 |
| 5.1.4 Ególatra (detector de ruido) | 54 |
| 5.1.5 Agresivo (ataca a los humanos) | 55 |
| 5.1.7 Depresivo (monitor de batería) | 57 |
| 5.2 Criaturas complejas | 58 |
| 5.2.1 Persistente (seguidor de línea) | 58 |
| 5.2.2 Vagabundo | 60 |

Capítulo 6. Resultados y conclusiones

| | |
|-------------------------------|----|
| 6.1 Resultados | 62 |
| 6.1.1 Resultados particulares | 63 |
| 6.2 Conclusiones | 66 |

| | |
|--------------|----|
| Bibliografía | 70 |
|--------------|----|

| | |
|--|-----|
| Apéndice A. El microcontrolador MC68HC11F1 | A-1 |
|--|-----|

RESUMEN

Nuestro trabajo se centra en describir y construir una colección de criaturas artificiales, las cuales se hacen con piezas mecánicas y eléctricas. Las criaturas están inspiradas en el libro de Valentino Braitenberg *Vehicles Experiments in Synthetic Psychology*.

El libro describe un conjunto de experimentos en los que los vehículos se construyen de simples componentes mecánicos y eléctricos. Cada uno de estos vehículos imaginarios de alguna manera imita conductas inteligentes y cada uno recibe el nombre que corresponde a la conducta que él imita, por ejemplo: el miedo, el amor, los valores, etc. Braitenberg usa estos experimentos para explorar las ideas psicológicas y la naturaleza de la inteligencia.

Nuestro trabajo sigue en espíritu a Braitenberg, sin embargo, en lugar de los motores y sensores imaginarios de Braitenberg, nosotros hemos diseñado y/o acoplado un conjunto de componentes reales. Por supuesto, nuestras criaturas no alcanzan los niveles de complejidad que Braitenberg propone. Por otro lado nuestras criaturas existen en el mundo real, las personas pueden convivir y actuar recíprocamente con ellas.

Capítulo 1 Antecedentes

1.1 ANTECEDENTES.

El origen del término robot proviene de la novela RUR (Robots Universales Russum) del autor Karel Capek, publicada en 1920 en Checoslovaquia, patria del autor; fué representada en el teatro nacional de Praga el 25 de Enero de 1921, y publicada en inglés en 1923. Esta obra trata de dos pequeños seres artificiales de forma humana que responden perfectamente a las órdenes de su creador, aunque al final acaban rebelándose contra él. Estos seres entienden por robots, una derivación del término checo robota, que, al igual que en ruso, significa trabajo. Aunque su nombre provenga de la obra RUR de 1920, el concepto de robot es muy anterior.

Hasta antes de la revolución industrial podemos mencionar dos formas de referirnos a los antecedentes de los robots: figuras artificiales en la mitología y el desarrollo de autómatas. La siguiente cronología es una breve descripción de como el hombre está fascinado con la posibilidad de crear vida artificial y "que se han usado todos los ingenios y aparatos posibles para dar a la materia inanimada funciones de la materia viva; ya sean humanos o animales, toquen instrumentos musicales, coman, o cualquier otra cosa que pasara por la imaginación humana antes de la revolución industrial". La mayoría de los autómatas fueron creados para uso ornamental, entretenimiento o como tributo a deidades o nobles.

1.1.1 Mitológicamente

Mitológicamente podemos mencionar los siguientes sucesos en la historia de la robótica [1]:

1. Algunos autores, como Jasia Reichardt, llegan a considerar que el comienzo de la historia de los autómatas se encuentra desde la creación de Adán por Dios.
2. Prometeo, quien hizo el primer hombre y la primer mujer con barro y les dio animación con el fuego robado de los cielos.
3. Hefaios, también conocido como Vulcano, dios de todas las artes mecánicas y del fuego, que hizo dos estatuas femeninas de oro que le ayudaban y le acompañaban dondequiera que fuese.
4. De nuevo Hefaios, que crea al gigante Talus, hecho de metal que guardaba Creta de los intrusos quemando sus cuerpos y matándolos.
5. Pygmalión, rey de Chipre, que crea la estatua de Galatea y, al enamorarse de ella, hace que Afrodita le dé vida.

1.1.2 Automatas Reales

Enseguida se describen algunos intentos de autómatas reales.

1. Amenhotep, hermano de Hapu, en el 1500 antes de Cristo, realiza una estatua de Memmon, rey de Etiopía, que emite sonidos cuando la iluminan los rayos del sol al amanecer.
2. King-su Tse en el 500 a.C., en China, construye una urraca voladora de madera y bambú y un caballo de madera que saltaba.
3. Archytar de Tarento, entre el 400 y el 397 a. C., construye un pichón de madera suspendido en un pivote, el cual rotaba con surtidor de agua o vapor, simulando el vuelo. Archytar es también el inventor del tornillo y de la polea.
4. Ctesibio, entre el 300 y 270 a. C., inventa una clepsidra (reloj de agua) y un órgano que funciona con agua.
5. Filon de Bizancio, entre el 220 y el 200 a. C. inventó un autómata acuático y la catapulta repetitiva.
6. El tesoro de Chin Shih Hueng Ti, consistía en una orquesta mecánica de muñecos encontrada por el primer emperador en el 206 a. C.
7. Hero de Alejandría, en el 62 d. C., hace un tratado de autómatas, un famoso registro de aplicaciones de la ciencia que pueden ser demostrados por medio de un autómata, así como su teatro automático en el cual, las figuras que se encuentran montadas en una caja, cambian de posición ante los ojos de los espectadores: pájaros cantores, trompetas que suenan, medidores de la fuerza del vapor, animales que beben, termoscopios, sifones y máquinas que operaban con monedas.
8. De autor desconocido, un hombre mecánico de jade que puede moverse en el 400 d. C.
9. Hsieh Fec, en el 335 d. C., construye un carro con cuatro ruedas con la figura de Buda, hecha de madera de sándalo.
10. Huang Kun (700 d. C.) hace barcos con figuras de animales, cantantes, músicos y danzarines, los cuales se mueven.
11. Yang Wu-Lien (700) construye un mono que extiende sus manos y dice "¡Limosna! ¡Limosna!", guardando su recaudación en una bolsa cuando alcanza un determinado peso.
12. El príncipe Kaya, hijo del Emperador Kannu, en el 840, construye una muñeca que derrama agua.
13. Han Chih Ho (890) hace un gato de madera que caza ratas y moscas, y un tigre que bailan.
14. El sabio príncipe hindú, Bhoja, en el 1050, escribe el Samarangana-Sutradhara, que incluye comentarios sobre la construcción de máquinas o yantras.
15. Al-Jazari en Amid, en el Alto Tigris, escribe en 1226 un libro sobre el conocimiento de invención mecánica, en donde se describían dispositivos mecánicos, como fuentes y relojes de agua.
16. Alberto Magno (1204-1272) crea un sirviente mecánico.
17. Roger Bacon (1214-1294) construye, después de 7 años de trabajo, una cabeza que habla.

18. Villard d'Honnecourt en 1235 hace un libro de esbozos que incluyen secciones de dispositivos mecánicos, como un ángel autómatas, e indicaciones para la construcción de figuras humanas y de animales.
19. El reloj con forma de gallo que canta en la catedral de Strasbourg, que funcionó desde 1352 hasta 1789.
20. Johanes Müller (1436-1476) construye un águila artificial que voló cuando el Emperador Maximiliano entró en Nuremberg en 1470.
21. Leonardo Da Vinci construye en 1500 un león automático en honoresa.
22. Elijah de Chelm, en 1550, construye un Golem.
23. Rabbi Löw de Praga, en 1580, construye un Golem.
24. Salomón de Caus (1576-1626) construye fuentes ornamentales y jardines placenteros, pájaros cantarines e imitaciones de los efectos de la naturaleza.
25. René Descartes inventó en 1640 un autómatas al que se refiere como "mi hijo Francine".
26. En 1662 se abre en Osaka el teatro Takedo de autómatas.
27. Christiaan Huygens, en 1690, construye fuentes, dispositivos voladores, diligencias y cajas de música basadas en autómatas.
28. Takedo Omi I, en 1714, construye un tigre artificial que echa aire por la boca.
29. Kara Kuri-Kiman Kaganigusa, en 1730, publica un importante compendio de autómatas japoneses.
30. Maillard diseña en 1731, para L'Academie des Sciences, carros con ruedas dentadas, hechas a mano. En 1733 diseña un cisne artificial.
31. En 1775 Gendaemon Wakai construye un muñeco que sirve el té.
32. Hanzo Hosokawa construyó en el siglo XVIII una muñeca de té japonesa con ruedas dentadas y resortes.
33. Iga-shichi Izuka, en 1790, construyó una muñeca que sirve sake.
34. En 1792 se contruye el tigre de Tipu, que representa a un tigre atacando a un hombre.
35. Josep Faber, en 1830, construyó un autómatas que habla.
36. Robert Houdin construye una muñeca que escribe. También realiza un pastelero, un acróbata, una bailarina en la cuerda floja, un hombre que apunta con una escopeta y un artista del trapecio.
37. Benkichi Oono construye una muñeca que se expresa de forma táctil.
38. Thomas Alva Edison, en 1891, construyó una muñeca que habla.
39. George Moore, en 1893, construye un hombre de vapor con una potencia de 0.5 caballos. Podía alcanzar una velocidad de 14 km/hr y usa su cigarro como válvula.

1.2 Los Robots en el Siglo XIX y XX

A partir de finales del XIX y comienzos del siglo XX, los robots son protagonistas de multitud de relatos de ciencia ficción así como de proyectos, tanto industriales como de investigación. Es a partir de estas investigaciones que se crean las bases científicas y técnicas que nos permiten alcanzar la posibilidad real de crear seres mecánicos y hasta virtuales con cierto grado de inteligencia o capacidad de tomar decisiones [1].

1. George Boole que en el siglo XIX da a conocer el álgebra booleana, un sistema abstracto de postulados y símbolos aplicable a problemas de lógica y universalmente adaptada al uso del ordenador.
2. James Clark Maxwell, en 1868, hace el primer estudio sistemático de realimentación.
3. Leonardo Torres Quevedo, un español, en 1912 construye una máquina electrónica capaz de jugar ajedrez.
4. Herman Hollerith, en 1886, inventó un sistema electromecánico de tarjetas perforadas para procesar el censo.
5. Vannevar Bush inventa, en 1930, el analizador diferencial, el primer ordenador analógico que resolvía ecuaciones diferenciales.
6. A.M. Turing crea, en 1936, una máquina que resuelve problemas.
7. Thomas Ross, en 1938, hace una máquina que imita a una criatura viva.
8. Claude E. Shannon demostró, en 1938, cómo las operaciones lógicas correspondían a circuitos de dos estados (abierto/cerrado).
9. El laboratorio de servomecanismo del MIT sienta las bases, entre 1939 y 1945, del control de realimentación para mecanismo de alta velocidad.
10. Howard Aiken crea para IBM, el MARK I (1944), una calculadora de secuencia controlada automáticamente.
11. John Vincent Atanasoff, crea el computador digital electrónico, entre 1940 y 1942.
12. J. Presper Eckert y John W. Mauchly crean el ENIAC, entre 1943 y 1946, un ordenador que trata operaciones numéricas.
13. John Von Neumann, en 1947, crea el EDVAC, un diseño lógico capaz de usar un programa almacenado.
14. La fundación Josiah Macy, convoca en 1947 la primer conferencia de cibernética.
15. W. Greg Walter crea dos tortugas electrónicas: Elmer y Elsie, capaces de evitar obstáculos en su camino.
16. W. Ross Ashby, en 1948, inventó el homeostato, una máquina con equilibrio propio, que siempre persigue el mismo objetivo.
17. Norbert Wiener crea, en 1948, el concepto de cibernética (control y comunicación de las terminales nerviosas del animal y la máquina).
18. Los laboratorios telefónicos Bell, en 1948, inventan el transistor, un componente electrónico que desplaza en poco tiempo a las válvulas o bulbos.
19. Los laboratorios matemáticos de la Universidad de Cambridge, entre 1947 y 1949, desarrollan el EDSAC, primer programa de ordenador almacenado con símbolos que representan instrucciones.

20. Los laboratorios servomecánicos del MIT desarrollan entre 1947 y 1953 la primer memoria magnética.
21. En 1950 aparece el primer ordenador controlado por cinta de papel.
22. NCR, entre 1954 y 1957, lanza el primer ordenador transistorizado.
23. Entre 1967 y 1971, aparece el ILLIAC IV, el primer ordenador en el que operan 64 CPU simultáneamente.
24. El circuito LSI integrado en un chip aparece en 1968.
25. En 1971 aparece el primer microcomputador de uso general, gracias a Intel Corporation.
26. En 1972 aparece la primer empresa que se dedica exclusivamente a Robótica: Unimation, Inc.
27. En 1978 aparece el CLIP 4, el primer ordenador capaz de manejar 9,216 microprocesadores simultáneamente.
28. En 1984 Valentino Braitenberg propone vehiculos en su libro "Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology", que es una psicología, propia de criaturas o vehiculos artificiales.

1.3 PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE UN ROBOT.

1. La versatilidad abarca la potencialidad geométrica y mecánica de un robot, es decir, por un lado, su aptitud física para ejecutar tareas diversas y, por otro, la ejecución diversificada de una misma tarea. La versatilidad implica una primera característica: Todo robot debe parecer una estructura geométrica variable.
2. La autoadaptabilidad al entorno, se trata de la capacidad de iniciativa de un robot, para desarrollar de manera correcta tareas no especificadas, a pesar de las modificaciones imprevistas del entorno. Esta propiedad conduce al robot a:
 - Ser capaz de captar el entorno que le rodea
 - Ser capaz de reflexiones para analizar el espacio de trabajo y elaborar una estrategia de ejecución.
 - Utilizar modos automáticos de operación.

1.4 La Robótica Como Herramienta del Hombre.

1.4.1 ROBÓTICA.

Los primeros robots creados en toda la historia de la humanidad no tenían más que un solo fin: entretener a sus dueños. Estos inventores se interesaban solamente en conceder los deseos de entretener a quien les pedía construir el robot. Sin embargo, estos inventores se comenzaron a dar cuenta de que los robots podía imitar movimientos humanos o de alguna criatura viva. Estos movimientos pudieron ser mecanizados, y de esta manera, se podía automatizar y mecanizar algunas de las labores más sencillas de aquellos tiempos. El origen del desarrollo de la robótica, se basa en el empeño por automatizar la mayoría de las

operaciones en una fábrica; esto se remonta al siglo XVII en la industria textil, donde se diseñaron telares que se controlaban con tarjetas perforadas [2].

1.4.2 AUTOMATIZACIÓN.

Con el nacimiento de la Revolución Industrial, muchas fábricas tuvieron gran aceptación por la automatización de procesos repetitivos en la línea de ensamble. La automatización consiste, principalmente, en diseñar sistemas capaces de ejecutar tareas repetitivas hechas por los hombres, y capaces de controlar operaciones sin la ayuda de un operador humano. El término automatización también se utiliza para describir a los sistemas programables que pueden operar independientemente del control humano. La mayoría de las industrias han sido automatizadas o utilizan tecnología para automatizar algunas labores; por ejemplo, en la industria de la telefonía, marcación, transmisión y facturación esta completamente automatizados. Los ferrocarriles son controlados por herramientas automáticas de señalización, las cuales cuentan con sensores capaces de detectar el cruce de carros en un punto en especial, esto significa que se puede tener vigilado el movimiento y localización de vagones de tren [1].

Pero no todas las industrias requieren el mismo grado de automatización. La agricultura es una industria difícil de automatizar, y sin embargo se ha vuelto más mecanizada esencialmente en el procesamiento y empaque de comida. De manera similar, los doctores pueden dar consulta asistándose en una computadora, pero finalmente el doctor, y no la computadora, termina por dar el diagnóstico final al paciente. En un futuro se podrán hacer cirugías por medio de robots.

Las industrias del aceite y la química en especial, han desarrollado métodos de flujo continuo de producción, a causa de la naturaleza de los materiales utilizados; en la industria de la refinera, aceite crudo penetra en un punto y fluye continuamente a través de pipas, destilación, y herramientas de reacción para ser procesadas en productos como la gasolina o el aceite. Un arreglo de herramientas de control automático manejados por un microprocesador y coordinados por una computadora central se utiliza para el control de válvulas, termostatos, y cualquier otro equipo que requiera ser regulado por las ocurrencias de flujo o reacción [1].

Los robots comenzaron a aparecer en el proceso de automatización industrial hasta la aparición de las computadoras en los 40's. Estos robots computarizados, están equipados con pequeños microprocesadores capaces de procesar la información que le proveen los sensores externos y así es como el robot puede tomar cambiar o mantener una operación en ejecución, a esto se le llama retroalimentación, y forma parte de la Cibernética. La retroalimentación es esencial en cualquier mecanismo de control automático, ya que ayuda a controlar los factores externos que le afecten en la correcta ejecución de sus operaciones normales.

1.4.3 CIBERNÉTICA.

La cibernética es una ciencia interdisciplinaria, tratando con sistemas de comunicación y control sobre organismos vivos, máquinas u organizaciones. El término es una derivación del vocablo griego *kybernetes* que significa gobernador o piloto, y fue aplicado por primera vez en 1948 a la teoría del control de mecanismos por el matemático americano Norbet Wiener [1].

Para conseguir la ejecución deseada de un organismo humano o de una herramienta mecánica, la información proveniente de los resultados actuales a través de la acción realizada debe hacerse disponible como una guía para futuras acciones. En el cuerpo humano, el cerebro y el sistema nervioso funcionan para coordinar la información, la cual es utilizada para determinar el futuro curso de una acción; controlar los mecanismos para la autocorrección en máquinas que sirven con un propósito similar. Este principio es conocido como retroalimentación, el cual es fundamental en el concepto de automatización.

La cibernética también se aplica al estudio de la psicología, servomecanismo, economía, neuropsicología, ingeniería en sistemas y al estudio de sistemas sociales, el término cibernética no es muy utilizado para describir por separado a un campo de estudio, y muchas de las investigaciones en el campo ahora se centran en el estudio y diseño de redes neuronales artificiales.

1.5 Conceptos de inteligencia artificial

1.5.1 Agente Inteligente

En este caso el robot será un agente, considerando que un agente es cualquier entidad que percibe su medio ambiente a través de sensores y es capaz de actuar sobre éste a través de efectores. Se trata de un agente racional, ya que cumplirá con un objetivo tomando en cuenta sus creencias y conocimientos.

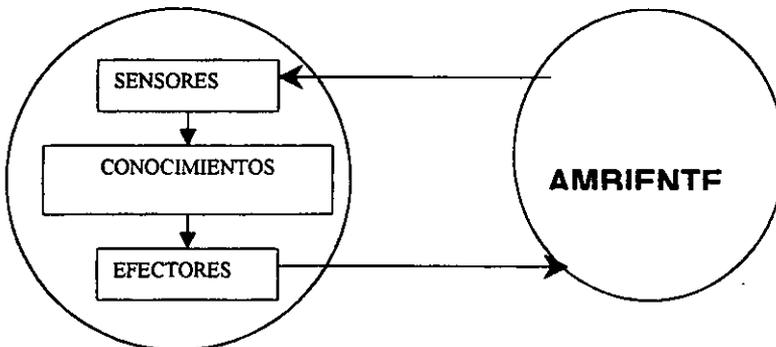


Figura 1.1 Diagrama de Agente inteligente

El objetivo del agente dependerá del comportamiento a imitar, los efectores resultan ser los motores y el conocimiento consiste de monitorear algún tipo de sensor y actuar de acuerdo a sus conductas programadas. En lo que respecta al ambiente varía de acuerdo a los sensores empleados.

Medida de desempeño, grado de éxito del agente en cumplimiento de sus objetivos.

Conocimiento del agente, lo que conoce sobre sus objetivos y su mundo.

Función de mapeo, lista de acciones que el agente debe ejecutar en respuesta a cada posible secuencia de percepciones.

Es un sistema no autónomo, ya que sus acciones se basan en conocimientos fijos.

La arquitectura, dispositivo de computo donde se ejecuta el programa del agente, pone a ejecución las percepciones que se obtienen por medio de los sensores.

1.5.2 Tipo de Agentes

- De reflejo simple.
- Bien informado de lo que pasa.
- Basado en metas.
- Basado en la utilidad.

Este robot puede ajustarse al agente de reflejo simple, ya que es muy sencillo su conjunto de acciones.

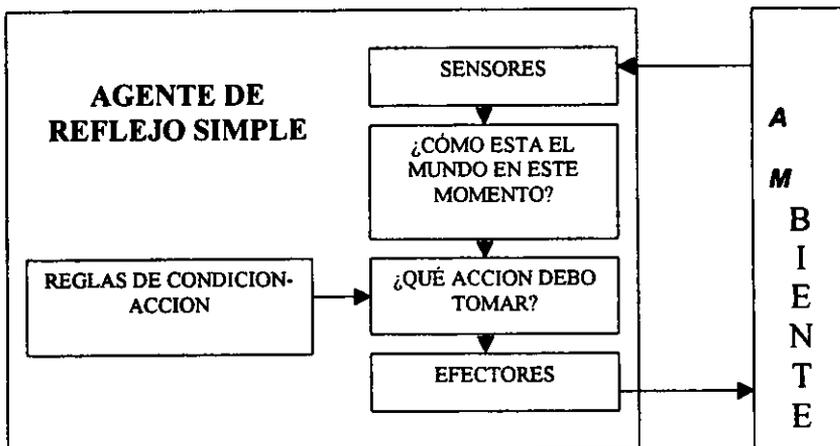


Figura 1.2 Modelo del agente de reflejo

1.5.3 Teoría de los Efectos

- Efecto, acontecimiento que depende de varios factores.
- Efecto, sistema organizado que produce un efecto. Corresponde al sistema motriz.
- Efecto focal, efecto en el que se está interesado.
- Efecto secundario, originado debido a la producción de un efecto.

Signo de los factores:

- Positivo, favorece al efecto focal.
- Negativo, desfavorece al efecto focal.

Dominio de un efecto, conjunto de valores que deben tomar los factores para que se produzca un efecto.

Retroalimentación, es la interrelación entre el efecto y uno o varios de los factores de tal forma que al variar el efecto por contingencia o por incremento de la entropía, los factores responden con variaciones consecuentes.

- Positiva, si una variación en el efecto provoca variaciones en el mismo sentido en uno o más factores de manera que el efecto se atenúa rápidamente o se amplifica.
- Negativa, al variar un factor, otros compensan esa variación.

En este caso es una retroalimentación negativa, porque un efecto varía los factores en sentido inverso.

1.6 Objetivos de la tesis

Diseñar y construir conductas en robots móviles simulando las criaturas propuestas por Braitenberg, lo cual se llevará a cabo por medio de dos robots móviles. Con el fin de demostrar la interacción del medio ambiente con el robot, esta percepción se llevará a cabo por medio de sensores. Al principio actuará cada sensor de forma independiente para finalmente unir varios tipos de sensores y el robot será capaz de reaccionar a diversos estímulos con conductas complejas.

1.7 Criaturas de Braitenberg

Nuestro trabajo se centra en describir y construir una colección de criaturas artificiales, las cuales se hacen con piezas mecánicas y eléctricas. Las criaturas están inspiradas en el libro de Valentino Braitenberg *Vehicles Experiments in Synthetic Psychology*.

El libro describe un juego de experimentos del pensamiento en donde los vehículos se construyen de simples componentes mecánicos y eléctricos. Cada uno de estos vehículos imaginarios de alguna manera imita conductas inteligentes y cada uno recibe un nombre que corresponde a la conducta que él imita, por ejemplo "El miedo, el Amor, los Valores, la Lógica, etc.". Braitenberg usa estos experimentos del pensamiento para explorar las ideas psicológicas y la naturaleza de la inteligencia. Progresando a través del libro, el lector es capaz de observar que las conductas intrincadas surgen de la interacción de partes simples de un componente.

En cierto sentido Braitenberg construye conductas inteligentes, este proceso lo llama psicología sintética.

Nuestro trabajo sigue en espíritu a Braitenberg. Sin embargo en lugar de los motores y sensores imaginarios de Braitenberg, nosotros hemos diseñado y/o acoplado un conjunto de componentes reales. Por supuesto, nuestras criaturas no alcanzan los niveles de complejidad que Braitenberg propone; ya que requieren mucho tiempo de diseño e investigación. Pero por otro lado nuestras criaturas ya existen en el mundo real, las personas pueden convivir e interactuar con ellas.

1.8 Descripción de capítulos

En el capítulo 2 se habla de los diferentes tipos de sensores usados en la robótica, se hace una descripción de transductor y sensor, para poder mencionar los diferentes tipos de sensores que existen. Para cada uno de ellos se hace una descripción de su funcionamiento y para algunos de ellos, también se presentan sus diagramas electrónicos. La mayoría de los sensores mencionados fueron utilizados en nuestros prototipos, lo único que no se utilizó fue el shaft encoder.

En el tercer capítulo se habla sobre los motores y la circuitería electrónica de potencia necesaria para poder controlarlos. Se empieza con una descripción sobre los actuadores y los tipos que existen de ellos, esto se hace ya que los motores son actuadores; posteriormente se describen brevemente los diferentes tipos de motores existentes en el mercado. De todos ellos, como se verá en capítulos subsecuentes, sólo los motores de corriente directa fueron utilizados en la presente tesis. En cuanto a la electrónica de potencia, se hace énfasis en los puentes H, que son los usados por nosotros.

Dentro del capítulo 4 se hace la descripción detallada de los dos prototipos diseñados. En primer lugar se describen los subsistemas que son comunes para ambos

robots, incluyendo la fuente de alimentación, el sistema motriz, el control de los motores de las ruedas y el sistema de control (usamos el 68HC11F1); luego viene en dos secciones independientes la descripción detallada de cada uno de los robots, tratando la arquitectura y el diseño físico y sus sistemas de sensores.

En el quinto capítulo se describe la implementación de las criaturas de Braitenberg usando los prototipos. El capítulo está dividido en dos partes, la primera trata las criaturas simples como son el tímido, el manejable, el obstinado, el ególatra, el agresivo y el depresivo; en la segunda parte se detallan las implementaciones de las criaturas complejas: el persistente y el vigilante.

Finalmente, en el sexto capítulo se presentan nuestros resultados y conclusiones, ahí trataremos nuestras principales dificultades, cómo las resolvimos, un contraste entre lo que esperábamos y lo que obtuvimos finalmente y nuestras impresiones finales acerca del trabajo y de la robótica en general.

Capítulo 2. Sensores

2.1 Transductores y Sensores

Un transductor es un dispositivo que convierte una señal física en otra señal correspondiente. El transductor convierte un tipo de variable física como puede ser la fuerza, la temperatura, la presión, la velocidad, etc., en otro tipo de variable, que comúnmente resulta ser un voltaje, una corriente o algún tipo de desplazamiento mecánico. El más conveniente es el que nos proporciona un voltaje; ya que nos facilita su acoplamiento con otros sistemas eléctricos[4].

Un sensor es un transductor que es usado para hacer la medición de una variable física de interés. La mayoría de los sensores y transductores requieren de calibración, para que estos resulten confiables al realizar la medición. En el proceso de calibración se fija un parámetro de referencia entre la variable medida y la señal de salida.

Los sistemas de medición electrónicos ofrecen las siguientes ventajas:

1. Cualquier variación de un parámetro no eléctrico de un material viene acompañado por la variación de un parámetro eléctrico, debido a la estructura electrónica de la materia.
2. En la mayoría de los casos la salida del sistema en medición, necesita ser amplificada
3. Existen numerosos recursos para presentar o registrar información si se hace electrónicamente, pudiendo manejar no solo datos numéricos, sino también texto, gráficos y diagramas.
4. La transmisión de señales eléctricas es más versátil que la de señales mecánicas hidráulicas o neumáticas.

Los transductores análogos proveen una señal de este tipo, sea de voltaje o corriente, esta señal puede ser interpretada como el valor de la variable física, mientras que los transductores digitales producen una señal de respuesta, como lo indica su nombre, de tipo digital, que incluye niveles lógicos que cuantifican la señal. Gracias a esta características sean han vuelto los más usados porque no es necesario procesar la señal antes de introducirla a un microcontrolador

2.2 Tipos de sensores

Según sea la señal de salida los sensores son clasificados en analógicos o digitales. En los sensores analógicos la salida varía a nivel macroscópico de forma continua. En los sensores digitales, la salida varía en forma de saltos discretos muestras, ya no requiere de una conversión Analógica / Digital (A/D) y la transmisión de su salida es más fácil, tiene mayor fidelidad, fiabilidad y muchas veces es más exacta [4].

Atendiendo al modo de funcionamiento los sensores pueden ser de deflexión o de comparación. En los sensores que funcionan en deflexión, la magnitud medida produce algún efecto similar, pero opuesto en alguna parte del instrumento, y que está relacionado con una variable útil, por ejemplo un dinamómetro.

En los sensores que funcionan por comparación, se intenta mantener nula la deflexión mediante la aplicación de un efecto bien conocido; opuesto al generado por la magnitud a medir; hay un detector de desequilibrio y un medio para restablecerlo, por ejemplo una balanza manual.

Según el tipo de relación entrada / salida, los sensores pueden ser de orden cero, de primer orden, de segundo orden o de orden superior. El orden está relacionado con el número de elementos independientes que almacenan la energía, incluye el sensor y repercute en su exactitud y la velocidad de respuesta. Esta clasificación es de gran importancia cuando el sensor forma parte de un sistema de control de lazo cerrado.

2.3 Fotoeléctricos

Técnicas comunes a los campos de la óptica y la electrónica han originado una nueva tecnología denominada optoelectrónica; este ha sido uno de los campos de crecimiento más rápido en la industria puesto en evidencia en las siguientes aplicaciones

- Máquinas de fotocopias.
- Infrarrojos para el seguimiento de cohetes y para visión nocturna.
- Sistemas de reconocimiento desde aviones o cápsulas espaciales, mapas meteorológicos y detección de incendios forestales.
- Detectores de humo y movimiento
- Reconocimiento de caracteres
- Lectura de códigos de barras.
- etc.

Los dispositivos fotoelectrónicos utilizan la luz como medio de transmisión entre un emisor y un receptor, es decir, una fuente luminosa y un elemento fotosensible. La luz es una radiación electromagnética comprendida en una banda de longitudes de onda de unos 100 a 800 nm. La longitud de onda caracteriza el color de la luz. En una banda de

400 nm (violeta) a 700nm (rojo), se encuentra la luz perceptible por el ojo humano (luz visible). Por encima de los 700 nm, la luz se denomina infrarroja (IR) y por debajo de los 400 nm, ultravioleta (UV) [3].

2.3.1 Fotorresistencias

Fotorresistencias son simplemente resistencias variables en varios casos semejantes a los potenciómetros, excepto que la resistencia cambia a causa de una variación en el nivel de luz. La resistencia disminuye con la presencia de la luz y se vuelve casi infinita en la oscuridad. Su conexión es sencilla, sin embargo, no son las mas eficientes, ya que resultan lentas en comparación con los semiconductores [3].

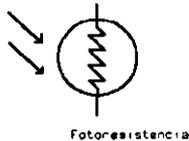


Figura 2-1
Diagrama eléctrico de una fotorresistencia

2.3.2 Fototransistores

Los Fototransistores proveen mayor sensibilidad a la luz que las fotorresistencias. En el fototransistor se forma al incidir la luz en la base, que controla la corriente del colector y así el voltaje del emisor dependerá de la incidencia de luz [3].

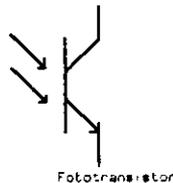


Figura 2-2
Diagrama eléctrico de un fototransistor

2.3.3 Fotodiodo

Un fotodiodo posee gran sensibilidad, produce una señal sobre un amplio rango de niveles de luz y responde rápidamente a los cambios de iluminación. Por esta característica son muy utilizados en sistemas de comunicación para detección modulada de luz, como puede ser el receptor de la TV, estereo y discos compactos. En la salida de un fotodiodo la mayoría de las veces necesita ser amplificada para poder ser utilizada en un microprocesador [3].

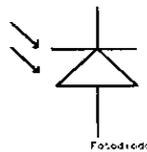


figura 2.3
Diagrama eléctrico de un fotodiodo

2.3.4 DETECTOR DE LUZ INFRAROJA

Este tipo de sensor es muy común de encontrar ya que diariamente convivimos con él, la mayoría de los aparatos eléctricos como son radios y televisores, tienen uno.

Como se muestra en la figura 2.5. tenemos un circuito oscilador que es un simil a nuestro control remoto, este circuito proporciona una señal en infrarrojo a una determinada frecuencia. Por ejemplo existe un circuito integrado que detecta la señal de infrarrojo, esta señal debe estar a 40 KHz, que es su frecuencia de detección, el circuito es GP1U52X y se muestra enseguida

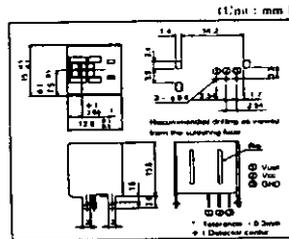


Figura 2.4 Circuito GP1U52X
Radio Shack [11]

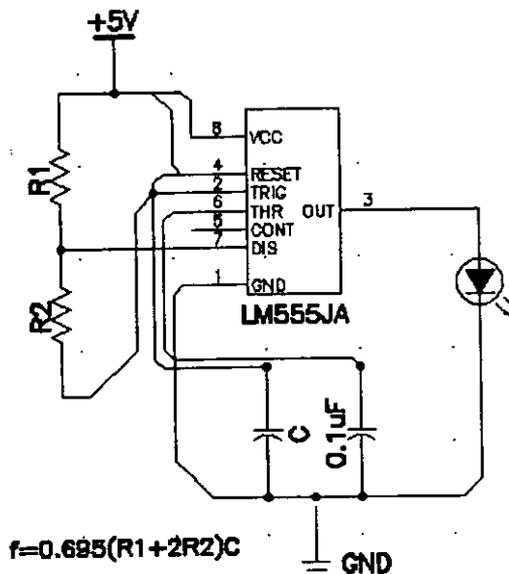


Figura 2.5 Circuito Oscilador de Luz
Radio Shack [11]

2.4 Sensores Piro eléctricos

Uno de los sensores más útiles para dotar al robot, con un mecanismo para interactuar con humanos, es un sensor piroeléctrico. Este tipo de sensor es esencial en la detección de movimiento, por lo cual es muy usado en la construcción de alarmas antirrobo [3].

La salida de un sensor piroeléctrico, esta dada por el cambio de temperatura de los cristales de litio-tantalio que lo componen. Los sensores piroeléctricos son diseñados para detectar radiación en el rango de 8-10 micrómetros (el rango de energía infrarroja emitida por los humanos).

El sensor Eltec 442-3 (figura 2.6) incorpora dos cristales de litio-tantalio. El amplificador diferencial suministra los voltajes a través de los cristales a la salida del sensor. En el caso que ambos cristales estén a la misma temperatura, el sensor produce una señal de salida que permanece constante de 2.5 Volts (considerando una fuente de 5 Volts).



Figura 2.6
Fotografía del sensor piroeléctrico, lab. ESSEC [17]

Si una persona camina enfrente del sensor, moviéndose de izquierda a derecha, la señal levanta a un valor de 1 Volt y después bajara el mismo voltaje, para finalmente regresar al voltaje inicial, por otro lado cuando la persona se desplaza de derecha a izquierda, sucederá lo inverso, es decir, la señal primero bajara, entonces subirá y después se establecerá, como se muestra en la figura 2.7

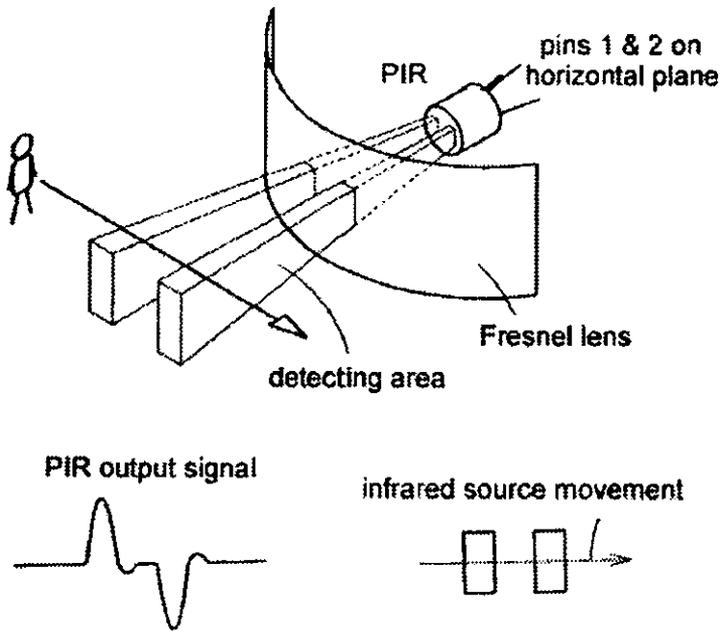


Figura 2.7
Diagrama de funcionamiento del detector de movimiento [17]

2.5 Sensores de Contacto (Microswitch)

Los microswitches son pequeños dispositivos, que al hacer contacto con un objeto mueven una palanca, que activa el switch, ya sea abriendo o cerrándolo. Son empleados con la finalidad de determinar cuando el robot ha chocado directamente con un objeto; son de fácil adaptación electrónica, ya que al tener contacto con el obstáculo es posible obtener una señal que puede ser capturada sin necesidad de agregar una interfaz compleja para ser procesada la información ni realizar una gran programación [5].

Se pueden utilizar tantos microswitches, como se desee ya que se pueden conectar alrededor del robot para que este tenga una mayor gama de puntos de contacto, buscando un control y monitoreo más exacto del entorno que lo rodea.

Se pueden realizar dos tipos de arreglos con los microswitches, uno tomando la salida de cada uno de estos, para que ingresen al microcontrolador de manera independiente cada uno y la otra es haciendo un arreglo con varios de ellos, para que se tenga como resultado un divisor de voltaje, para que al ser capturado por el convertidor Analógico / Digital del microcontrolador distinga el switch y se pueda realizar una tarea específica.

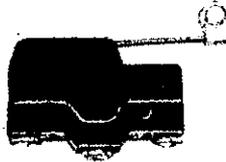


Figura 2.8 Sensor de contacto
Catálogo Grainger [7]

2.6 Sensado del nivel de batería

Para sensar el nivel de voltaje de una batería, el robot indicará cuando debe recargarse, una forma sencilla de obtenerlo, es colocando un indicador de nivel de voltaje, colocando un arreglo conectado antes de ingresar el voltaje al regulador de voltaje o después del mismo, como se presenta en la figura 2.9. con este arreglo se toma una parte del voltaje de la batería y cuando disminuya de cierto valor nos lo indicará [3].

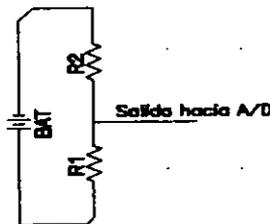


Figura 2.9
Diagrama eléctrico para monitorear batería

2.7 Sensor de Sonido

Sensores para detectar sonido en un rango audible pueden permitir al robot interactuar al robot con el mundo, debido a que podrá escuchar (en sentido literal)

sonidos, por ejemplo aun cuando chocan dos palmas, un silbido, en fin distintos sonidos que para él representen una acción a seguir[3].

2.7.1 Micrófonos

Un micrófono es un sensor que nos ayuda a detectar sonido, funciona cuando las ondas del ruido mueven un diafragma, que está conectado a una bobina en un campo magnético y al moverla genera un voltaje que representa al sonido. Fácilmente puede ser ligado a un microcontrolador. Al tener la interface con el microcontrolador se proporcionan ciertas conductas al robot como por ejemplo: Al oír un ruido el robot se dirigirá hacia delante o hacia atrás, tal vez podrá identificar de donde proviene un determinado ruido y dirigirse hacia él [3].

La señal típica de salida proveniente de un micrófono debe ser amplificada antes de ser leída por un microprocesador, ya que los valores de voltaje que arroja son muy pequeños.

Uno de los problemas más significativos con el uso de un micrófono es la necesidad de hacer un muestreo la señal frecuentemente, ya que al capturar un sonido este no dura mucho tiempo

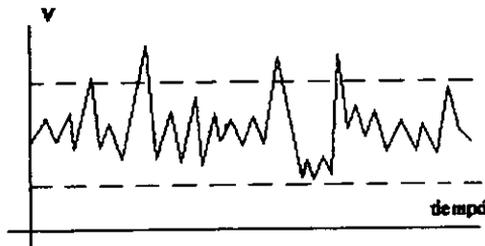


figura 2.10
Gráfica de la Respuesta de un Micrófono

2.8 Shaft encoders

Un Shaft encoders es un sensor que mide la posición de rotación de una flecha. Típicamente un Shaft encoders es montado sobre la flecha de un motor o bien llamado eje de motor. La señal entregada por este sensor puede corresponder a un código particular que sirve para orientar al motor (tales sensores son llamados codificadores absolutos) [5].

Los sensores que producen un tren de pulsos son llamados codificadores incrementales, esto se debe que cada vez que la flecha avanza una distancia el estado del sensor a su salida cambia de alto a bajo o viceversa, así el porcentaje de pulsos producidos corresponde al porcentaje de giro en la flecha.

Otro tipo de sensor que es usado en estos casos como un codificador absoluto, puede ser un potenciómetro; cada posición de la flecha produce una resistencia única asociada. Los codificadores absolutos son comúnmente usados para determinar la posición de los brazos mecánicos.

Una manera para sincronizar la velocidad de motores en robots móviles, es la utilización de Shaft encoders en cada uno de los ejes asociados al motor. Algunos sensores incrementales (Shaft encoders) están contenidos en una sola unidad o en partes integrales, es decir, se tiene separado un led infrarrojo y un foto transistor, además de un disco perforado, como se muestra en la figura 2.11.

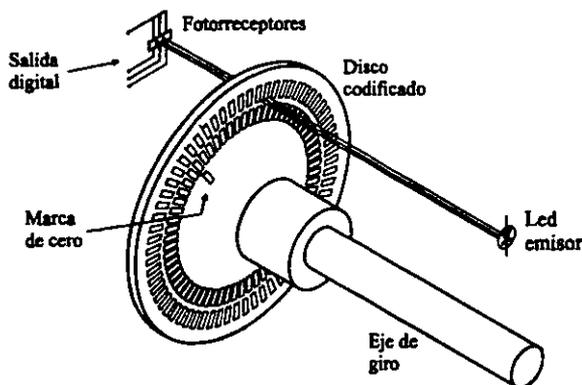


Figura 2.11 Diagrama del sistema Encoder.
Fundamentos de robótica, Barrientos Antonio [2]

El led se coloca de un lado del disco y el fototransistor del otro, en medio de estos dos dispositivos quedará el disco perforado, su funcionamiento es el siguiente: Al emitir el led un haz de luz, este pasará a través del disco con lo cual activará la salida del fototransistor, mandándola a alto; en el caso en que la luz no llegue a pasar la salida del fototransistor, será baja, de esta manera nuestras lecturas serán un tren de pulsos que nos dirá de que manera ha girado el motor.

Otra manera de implementación de un Shaft encoder es con un fotoreflexor, el cual mide la cantidad de luz reflejada sobre una superficie, la superficie necesita tener zonas blancas y negras. También hay discos con ranuras irregulares y muy específicas que al ser captadas se puede conocer la posición exacta o el ángulo de giro de la flecha.

El disco fragmentado tiene divisiones radiales de blanco a negro, tiene la función de discriminar cuando la emisión de luz sea reflejada o no, con lo cual el fototransistor obtendrá lecturas de los cambios de luz sobre este disco, proporcionándonos así una salida muy similar a un tren de pulso. Para tener lecturas precisas dependerá del número de divisiones que se tengan sobre el disco, a mayor número de divisiones mejor resolución, a menor número de divisiones la resolución será más baja.

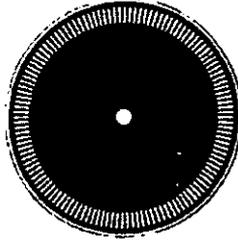


Figura 2.12 Disco Perforado
Robot builder's Bonanza [5]

Capítulo 3. Motores y manejadores de potencia

3.1 Elementos motrices de los robots

Los actuadores tienen por misión generar el movimiento de los elementos del robot según las ordenes dadas por la unidad de control. Los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica [2].

3.1.1 Actuadores Neumáticos

En ellos la fuente de energía es aire a presión entre 5 y 10 bar. Existen dos tipos de actuadores neumáticos.

- Cilindros neumáticos
- Motores neumáticos

En los primeros se consigue el desplazamiento de un embolo encerrado en un cilindro, como consecuencia de la diferencia de presión a ambos lados de aquel.

En los motores neumáticos se consigue el movimiento de rotación de un eje mediante aire a compresión.

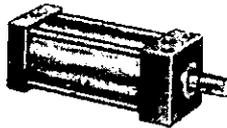


Figura 3.1.a Actuadores Neumáticos por desplazamiento. Catálogo Grainger [7]

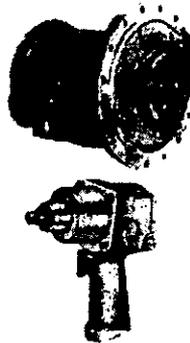


Figura 3.1.b Actuadores Neumáticos por rotación. Catálogo Grainger [7]

3.1.2 Actuadores Hidráulicos

Este tipo de actuadores no se diferencian funcionalmente en mucho de los neumáticos. En ellos en vez de aire se utilizan aceites minerales a una presión comprendida normalmente entre los 50 y 100 bar, llegando en ocasiones a superar los 300 bar [2].



Figura 3.2 Motor Hidráulico. Catálogo Grainger [7]

3.1.3 Actuadores Eléctricos

Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los mas usados en los robots industriales actuales [2]. Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente continua (DC)
 - Controlados por inducido
 - Controlados por excitación

- Motores de corriente alterna (AC)
 - Síncronos
 - Asíncronos

- Motores paso a paso

3.1.3.1 Motores de Corriente Continua (DC)

Son los usados en la actualidad debido a su facilidad de control. Los motores de DC están constituidos por dos devanados internos, inductor e inducido, que se alimentan con corriente continua [2].

El inductor, también denominado devanado de excitación, esta situado en el estator y crea un campo magnético de dirección fija, denominado excitación.

El inducido, situado en el rotor, hace girar al mismo, debido a la fuerza de Lorentz que aparece como combinación de la corriente circulante por el y del campo magnético de excitación. Recibe la corriente del exterior a través del colector de delgas, en el que se apoyan unas escobillas de grafito.

Para que se pueda realizar la conversión de energía eléctrica en energía mecánica de forma continua es necesario que los campos magnéticos del estator y del rotor permanezcan estáticos entre si. Esta transformación es máxima cuando ambos campos se encuentran en cuadratura.

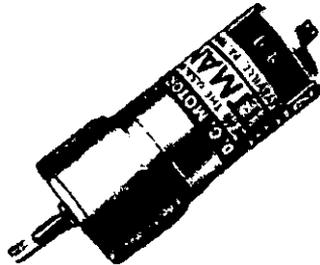


Figura 3.3 Motor Corriente Directa. Catálogo Grainger [7]

3.1.3.2 Motores de Corriente Alterna (AC)

Este tipo de motores no ha tenido aplicación en el campo de la robótica hasta hace unos años, debido a la fundamentalmente a la dificultad de su control. Sin embargo, las mejoras que se han introducido en las máquinas sincronas hacen que se presenten como un claro competidor de los motores de corriente continua. Esto se debe principalmente a tres factores [2]:

La construcción de rotores sincronos sin escobillas

Uso de convertidores estáticos que se permiten variar la frecuencia (y así la velocidad de giro) con facilidad y precisión.

Empleo de la microelectrónica que permite una gran capacidad de control

El inductor se sitúa en el rotor y esta constituido por imanes permanentes mientras que el inducido, situado en el estator, esta formado por tres devanados iguales decalados 120 eléctricos y se alimentan con un sistema trifásico de tensiones.

En los motores sincronos la velocidad de giro depende únicamente de la frecuencia de la tensión que alimenta el inducido. Para poder variar de esta con presión, el control de velocidad se realiza mediante un convertidor de frecuencia. Para evitar el riesgo de perdida de sincronismo se utiliza un sensor de posición continuo que detecta la posición

del rotor y permite mantener en todo momento el ángulo que forman los campos del estator y del rotor. Este método de control se conoce como autosincrónico o autopilotado.

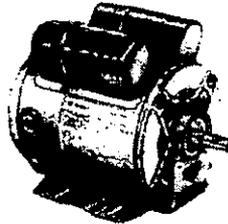


Figura 3.4 Motor de Corriente Alterna. Catálogo Grainger [7]

3.1.3.3 Motores paso a paso

En los motores paso a paso la señal de control son trenes de pulsos que van actuando rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator. Por cada pulso recibido, el rotor del motor gira un determinado número discreto de grados.

Para conseguir el giro del rotor en un determinado número de grados, las bobinas del estator deben ser excitadas secuencialmente a una frecuencia que determina la velocidad de giro. Los motores paso a paso presentan grandes ventajas con respecto a la utilización de los servomotores debido a que pueden manejar digitalmente sin realimentación, su velocidad se puede controlar fácilmente, tienen una larga vida, son pequeños, robustos y poseen un elevado torque en bajas revoluciones, lo que permite un bajo consumo tanto en vacío como en plena carga, su mantenimiento es mínimo debido a que no tiene escobillas [2].



Figura 3.5 Motor Paso a Paso. Catálogo Grainger [7]

3.2 Interfaz con motores

Un microprocesador no puede manejar directamente un motor, ya que no puede suministrar suficiente corriente. Debemos tener una circuitería, tal que el poder del motor sea suministrado desde otra fuente de poder y únicamente el control de las señales derive desde un microcontrolador [3].

Esta interfase de circuitos puede ser implementada con una variedad de tecnologías, tales como relevadores, transistores bipolares, MOSFETS (metal oxide semiconductor field offset transistor) y circuitos integrados controladores de motores. En todas las tecnologías, sin embargo la topología básica es la misma. Esta topología es conocida como Puente H y consiste de cuatro switches conectados como se muestra en la figura 3.3

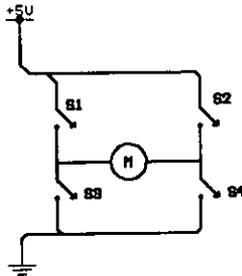


Figura 3.6
Diagrama de la Topología General

3.2.1 Puentes H

En un Puente H, como se muestra en la figura 3.4 los switches son abiertos o cerrados dependiendo de la forma que se quiera polarizar el motor, haciendo circular corriente a través éste, para lograr un sentido de giro, si se requiere cambiar el sentido de giro únicamente se tendrá que cambiar la polarización. Por ejemplo si los switches S1 y S4 están cerrados, mientras que S2 y S3 están abiertos, la corriente fluye de izquierda a derecha a través del motor. Cuando los switches S1 y S4 están abiertos, mientras que S2 y S3 están cerrados la corriente fluye de derecha a izquierda a través del motor [3].

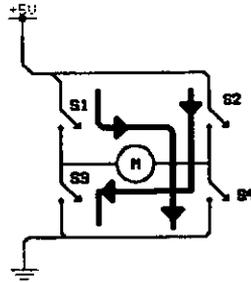


Figura 3.7
Diagrama de un Puesto H

3.2.2 Circuitos Integrados Manejadores de Potencia

La selección del circuito L293D es porque cuenta únicamente 16 pines (DIP), además contiene dos Puentes H, para poder controlar y dar mas potencia a nuestros motores. Los diodos de protección se encuentran integrados en el mismo circuito. El L293D puede entregar 600 mA al motor. Figura 3.8

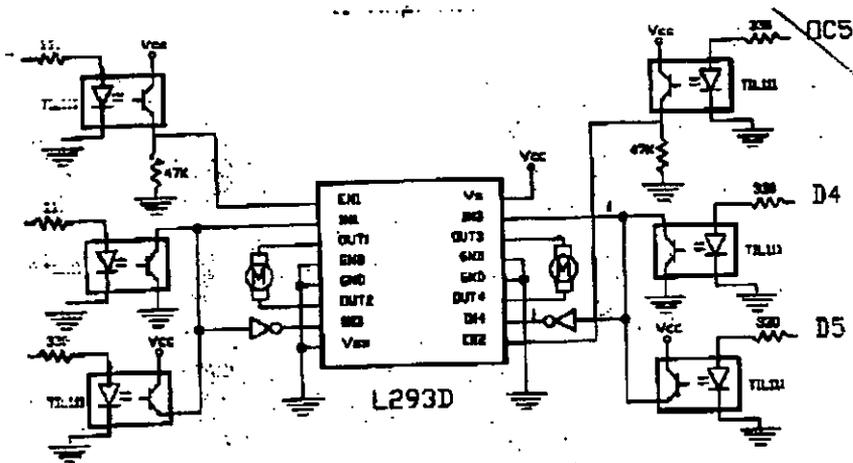


Figura 3.8
Diagrama de Controlador de Motores de Corriente Directa (CAMV)

3.3 Método de Control de Velocidad de Motores de DC.

En este punto se mencionaran algunos métodos de Control de Velocidad que son aplicados comúnmente en el campo de la Robótica

3.3.1 Modulación por Ancho de Pulso(PWM, Pulse Width Modulation)

Basándonos en la configuración del Puente H, la velocidad será controlada por la variación del estado de los switches, es decir. por medio de prender y apagar los switches en longitudes de tiempo variable, se tendrán diferentes porcentajes de voltaje corriendo a través del motor [3]. Esta técnica es llamada pulse width modulation y es ilustrada en la siguiente figura 3.9

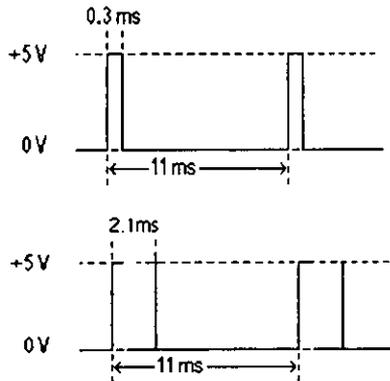


Figura 3.9
Diagrama de pulsos, Creaturoides Mt. [15]

La velocidad del motor de DC, puede ajustarse por medio del cambio del ancho de pulso

$$\% \text{ Ancho de pulso} = T_{\text{preendido}} / T_{\text{periodo}}$$

Capítulo 4. Prototipos

4.1 Diseño General

Para el presente trabajo de investigación, se construyeron físicamente dos robots móviles, cada uno de ellos puede realizar diferentes tareas respecto al otro, es decir, un robot no puede hacer algunas o todas las tareas que el otro sí puede hacer. En el capítulo subsecuente se detallará a cada uno de los robots móviles en cuanto a su diseño y características propias, sin embargo, existen características físicas y electrónicas que ambos robots tienen en común.

4.1.1 Fuente de alimentación

Para alimentar toda la circuitería lógica, tanto de control como de sensado, se está utilizando un regulador de voltaje a 5 Volts, el circuito integrado 7805. Este elemento es capaz de regular a ese voltaje constante entregando una corriente máxima de hasta 1 ampere.

El diagrama eléctrico es muy básico, consiste solamente del circuito mencionado, un capacitor tanto para el voltaje de entrada como para el voltaje de salida, y los conectores pertinentes para los voltajes recién mencionados; existe un rango considerable para el voltaje de entrada, puede estar entre los 7 y los 35 Volts, esto es perfecto para nuestros requerimientos ya que usamos baterías selladas de ácido de 12 Volts para alimentar a toda la circuitería del robot.

Los capacitores sirven para reducir la cantidad de ruido u oscilaciones que pudieran existir en el voltaje de entrada al 7805 o a su salida; es de crucial importancia este filtro a la salida del circuito integrado porque estamos alimentando a un circuito que tiene un temporizador a alta frecuencia (2 MHz), y un circuito bajo estas condiciones genera señales de radiofrecuencia, lo cual puede reflejarse en las oscilaciones de voltaje.

Este voltaje debe ser lo más estable posible, ya que es el que alimenta a toda la circuitería y es el que se toma como referencia para el correcto funcionamiento de cada uno de los subsistemas del robot. El circuito se muestra a continuación:

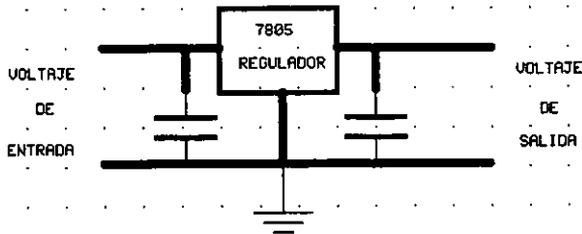


Figura 4.1. La fuente de voltaje, 7805 (ESQUEMATICO DEL 7805 CON BATERIA)

4.1.2 Sistema Motriz

Para cada uno de los robots se implementó un sistema motriz que consta de dos ruedas traseras impulsadas por dos motores de corriente directa independientes con la ayuda de un arreglo de engranes entre cada motor y su respectiva rueda, además de una rueda delantera libre que sirve de apoyo, figura 4.2. La superficie de las ruedas es de plástico duro y la delantera puede girar libremente 360°. Para uno de los robots utilizamos ruedas que estaban recubiertas por una capa de hule.

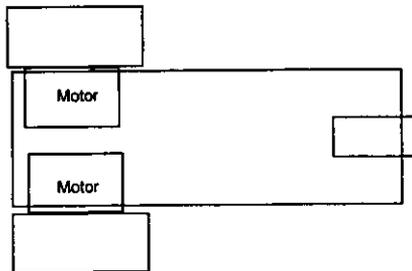


Figura 4.2. Posición de los motores y ruedas en el robot (vista superior)

Los engranes reductores utilizados en el eje de cada motor tienen dos funciones, reducir la velocidad angular y aumentar el torque. Esto se logra colocando un juego de engranes en cadena, un engrane de eje de diámetro pequeño antes que uno de eje de diámetro mayor, cada pieza tiene los dos tipos de engranes, de tal forma que se pueda ir formando la cadena de engranes y propagar la reducción de velocidad y el aumento de potencia. Esto tiene la ventaja de que podemos usar motores de bajo consumo de corriente para poder soportar un peso considerable (estamos hablando de un margen de 1 a 1.5 Kg.).

Esta configuración le permite al robot realizar los siguientes movimientos: movimiento hacia adelante, movimiento en reversa, vuelta a la derecha y a la izquierda usando una rueda como pivote, torque hacia la derecha y a la izquierda, girando sobre el eje que existe en el punto medio entre las dos ruedas de tracción, véase figura 4.3.

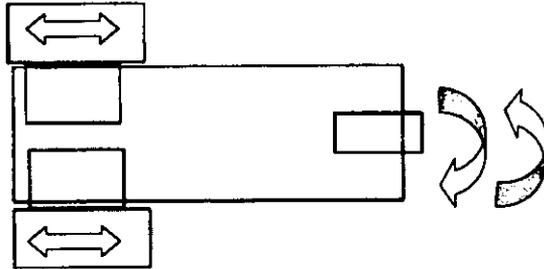


Figura 4.3. Movimientos posibles con el sistema motriz implementado

4.1.2.1 Control de motores de corriente directa

La polarización de acción para cada motor es suministrado por el microcontrolador a través del controlador-amplificador de corriente para motores, L293D. Básicamente, este circuito recibe del microcontrolador un "1" lógico (5 Volts) o un "0" lógico (0 Volts) como entrada para cada canal y se tiene como salida correspondiente a este canal un "1" lógico (V_s Volts) o un "0" lógico (0 Volts), donde V_s es el voltaje suministrado al chip L293D que se desea aplicar a los motores.

El L293D presenta cuatro canales independientes, por lo que nos permite controlar hasta dos motores de corriente directa con un solo chip. Puesto que cada robot presenta únicamente dos motores de corriente directa, es nuestra opción ideal de amplificación de corriente [6].

Es sencillo el uso de este chip, sin embargo, podríamos causar daños al microcontrolador HC11 si el chip L293D fallara o si se presentara algún corto circuito en la parte de los motores, debido a las altas corrientes (mili amperes) que se manejan (recordemos que el HC11 trabaja corrientes del orden de los nanoamperes y micro amperes) para la operación de los motores [6].

Por lo tanto, para evitarnos problemas, es necesario aislar eléctricamente la circuitería del microcontrolador HC11 de la utilizada para la etapa de potencia, para lograr esto, utilizamos circuitos optoacopladores TIL111 entre el puerto del microcontrolador y las entradas del circuito L293D. El diagrama eléctrico se muestra en la figura 4.4.

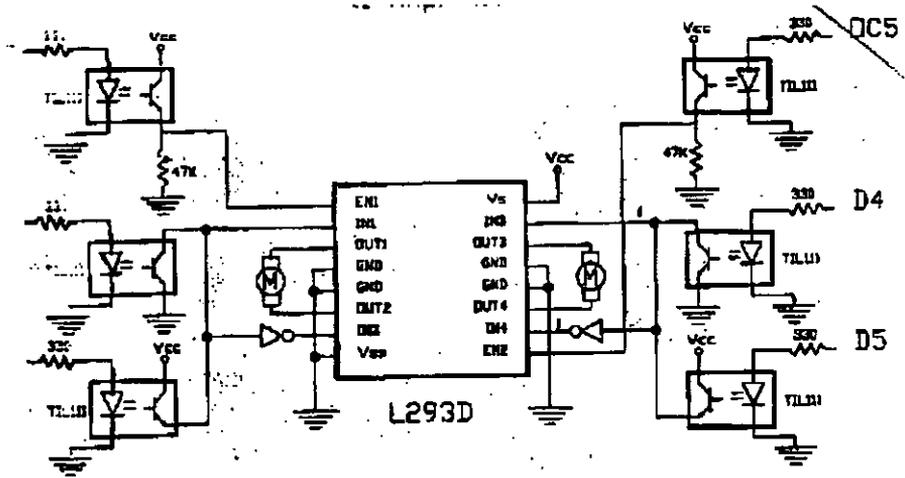


Figura 4.4. Circuito de manipulador de motores

La tabla de verdad para la operación de cada rueda es muy sencilla, esto se logra utilizando dos canales para cada motor.

| I ₁ | I ₂ | Operación |
|----------------|----------------|-----------|
| 0 | 0 | Libre |
| 0 | 1 | ↻ |
| 1 | 0 | ↻ |
| 1 | 1 | Libre |

4.1.3 Sistema de Control

Ambos robots utilizan el microcontrolador de Motorola MC68HC11 en su versión F1, en el apéndice A se describe brevemente los aspectos generales de dicho chip. En este apartado se explica el diagrama eléctrico de la tableta que se implementó para el funcionamiento del microcontrolador y para poder programarlo desde una computadora personal [6].

El circuito utilizado para el correcto funcionamiento del microcontrolador estuvo basado en las recomendaciones dadas en el manual de usuario del HC11 publicado por Motorola [6]. Básicamente consiste en un cristal para el oscilador interno del micro,

resistencias de pull-up para los puertos de entrada-salida, circuitos habilitadores para el reset del micro, capacitores usados como filtros y conectores diversos para los puertos y para la alimentación de voltaje.

Lo que fue agregado fue un circuito encargado de convertir las señales CMOS del transmisor-receptor serial del HC11, a señales bajo el estándar RS-232 utilizado por las UART's de las computadoras personales IBM y compatibles, al igual que convertir las señales RS-232 a CMOS. El estándar RS-232 maneja niveles de hasta 12 Volts, mientras que las señales de los dispositivos CMOS son de 5 Volts máximo.

El circuito integrado encargado de hacer esas conversiones es el MAX232, de la compañía MAXIM. Este chip sólo necesita de unos capacitores externos para su operación. El hecho de que exista comunicación entre la computadora y el microcontrolador es que podemos programar el HC11 utilizando un programa fácil de usar y amigable.

El diagrama eléctrico completo del microcontrolador HC11 junto con la del MAX232 se muestra en la figura 4.5.

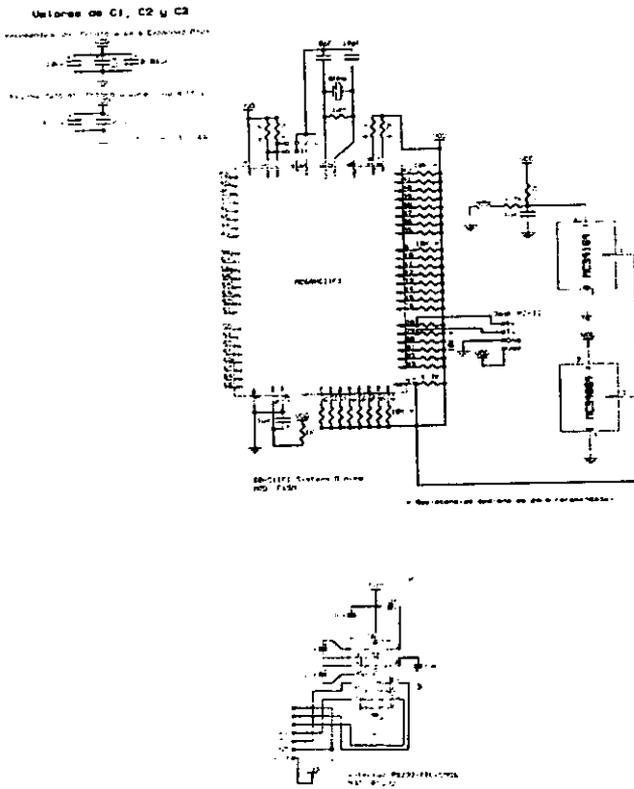


Figura 4.5. El sistema de control (Esquemático del HC11 junto con el del MAX232)

4.2 Prototipo I

El primer prototipo fue diseñado teniendo como objetivo el realizar tareas que requirieran de sensores ópticos para piso. Estas tareas principalmente involucran el seguimiento de líneas blancas sobre un fondo en alto contraste, por ejemplo, en color negro. Para este caso, entonces, utilizamos sensores reflectores de luz infrarroja.

4.2.1 Arquitectura y diseño físico

El diagrama de bloques representando cada uno de los subsistemas del primer prototipo se muestra en la figura 4.6. En él, se puede apreciar el sistema de control, el sistema motriz y el sistema de sensado. Las primeras dos etapas ya fueron descritas en los incisos anteriores, sólo resta describir la etapa de sensado, única para este prototipo.

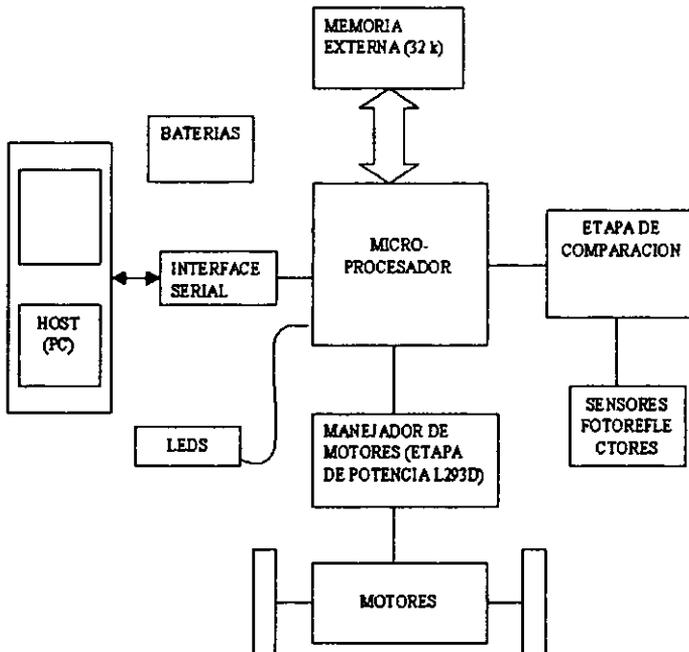


Figura 4.6. Arquitectura del prototipo I
(Diagrama de bloques del primer prototipo)

En las siguientes imágenes se muestra la construcción física del prototipo I.

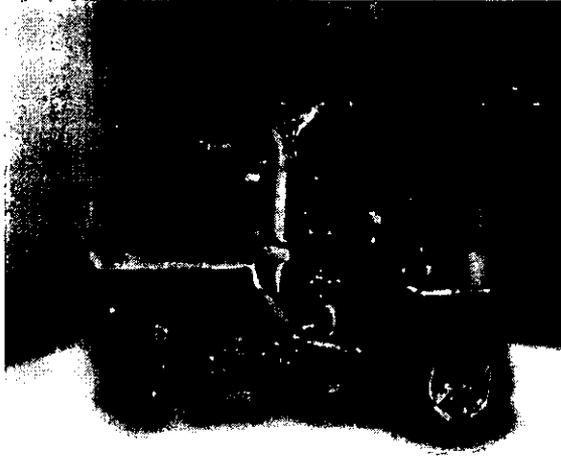


Figura 4.6. Vista lateral del prototipo I

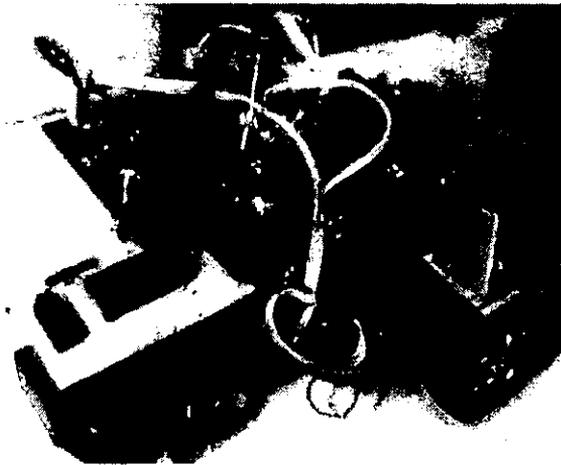


Figura 4.7. Vista superior del prototipo I



Figura 4.8. Vista inferior del prototipo I



Figura 4.9 Vista trasera del prototipo

4.2.2 Sistema de sensado

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, el robot cuenta con seis sensores de luz infrarroja reflectivos. Estos se encuentran a una distancia de 5 [mm] del suelo, de tal forma que la luz infrarroja emitida por el emisor pueda reflejarse en la superficie del suelo y ser detectada por el fototransistor, figura 4.10. La distancia entre el suelo y el sensor es la mencionada anteriormente, tal y como lo establece la hoja de especificaciones del sensor HOA1405, véase el apéndice B.

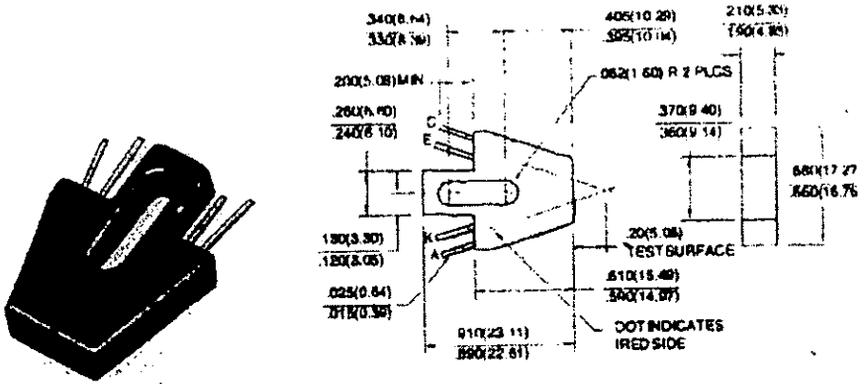


Figura 4.10. Diagrama del sensor "reflectivo" HOA1405 [16]

La forma de uso es muy simple, si el fototransistor recibe una gran cantidad de luz infrarroja, existirá una diferencia de potencial pequeño entre el emisor y el colector del mismo. Por otro lado, si casi no recibe luz, existirá un voltaje significativo (hasta un máximo de 5 Volts que es el valor proporcionado para alimentar toda la circuitería) entre el emisor y el colector. El circuito electrónico se muestra a continuación.

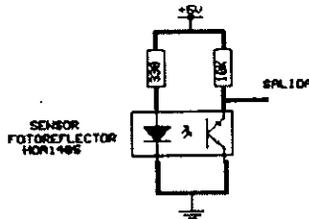


Figura 4.11. El circuito del sensor óptico reflectivo (Diagrama electrónico para el sensor "reflectivo")

Una resistencia limita la corriente que circula por el diodo emisor de luz infrarroja; la otra, permite que circule la corriente que sale del emisor del fototransistor hacia tierra. La lectura del sensor se toma de la unión entre el emisor del fototransistor y la resistencia, el sensor presenta una variación de dos Volts dependiendo de la cantidad de luz que detecte.

Puesto que la variación de dos Volts no es suficiente para que el microcontrolador pueda distinguir entre '0' o '1' lógicos, necesitamos un dispositivo electrónico que nos convierta esas fluctuaciones de dos Volts que salen del sensor a variaciones de 5 Volts, los cuales el microcontrolador sí puede entender. Este dispositivo es el LM339, que consta de cuatro comparadores de voltaje independientes.

Cada comparador tiene dos entradas y una salida, en una entrada se aplica la lectura del sensor y en la otra el voltaje que se utiliza como umbral para las fluctuaciones de voltaje del sensor, es decir, este voltaje de referencia debe ser el punto medio entre el voltaje máximo y el mínimo que pueda existir a la salida del sensor; esto es para que si el voltaje a la salida del sensor es superior al voltaje de referencia, tengamos a la salida del comparador un "1" lógico (5 Volts), y viceversa, si la lectura del sensor es inferior al voltaje de referencia, tendremos un "0" lógico (0 Volts) a la salida del dispositivo. El circuito del LM339 junto con los sensores es el siguiente:

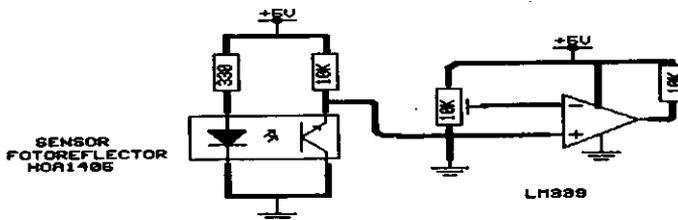


Figura 4.12. La etapa de sensado del Tepez I
(Diagrama electrónico de la etapa de sensado del Tepez I (LM339 con HOA1405))



Figura 4.13 Vista Física del Circuito Comparador (Izquierda) y Circuito Regulador de Voltaje (Derecha)

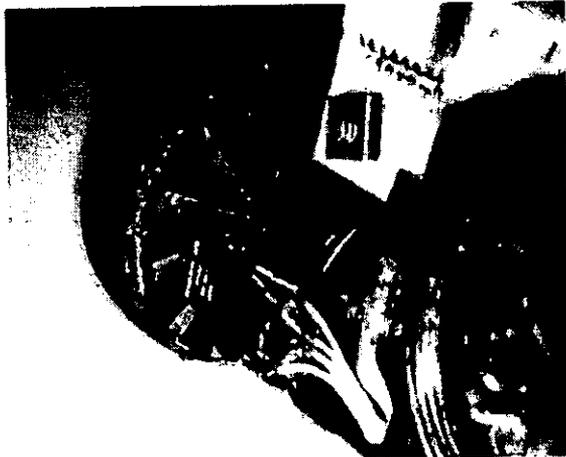


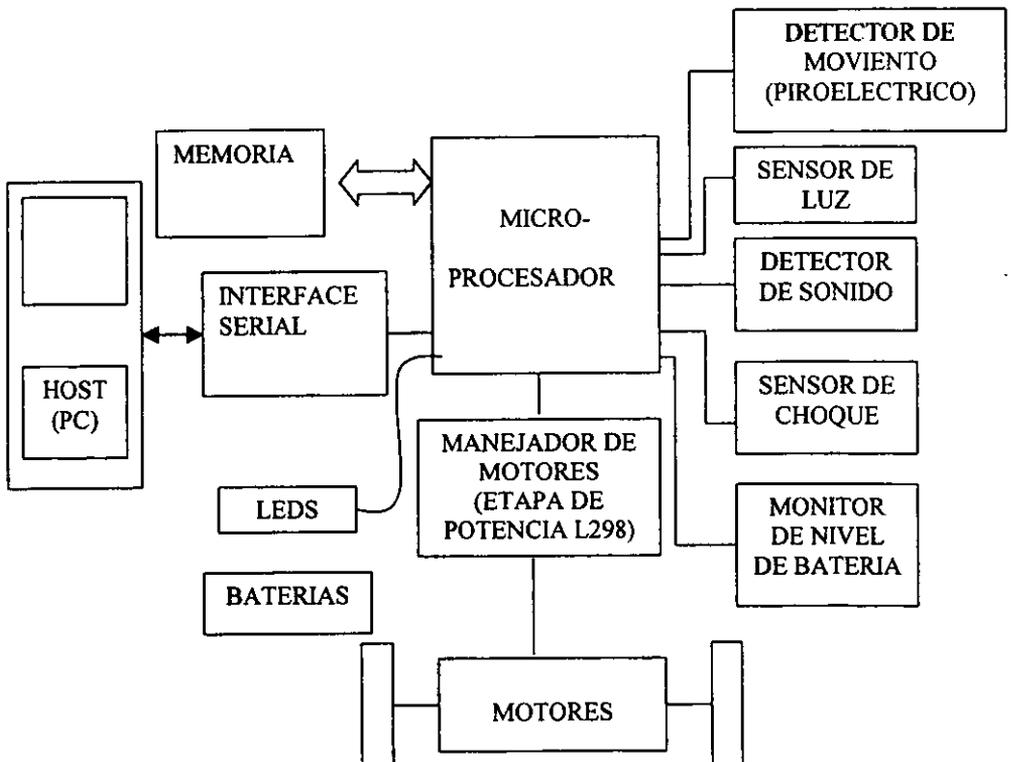
Figura 4.14 Vista Física del Motor y Encoder

4.3 Prototipo II

El segundo prototipo fue diseñado teniendo como objetivo realizar diversas aplicaciones, dependiendo el sensor que se encuentre interactuando, por ejemplo detector de luz, que básicamente se encargara del seguimiento de un rayo luminoso cuando incide en esté. El detector de sonido, que nos ayudara a percibir un determinado ruido para frenar o iniciar una conducta. Se describirá cada una de las etapas de sensado en los siguientes subíndices.

4.3.1 Arquitectura y diseño físico

El diagrama de bloques representando cada uno de los subsistemas del segundo prototipo se muestra en la figura 4.15. En él, se puede apreciar el sistema de control, el sistema motriz y el sistema de sensado. Las primeras dos etapas ya fueron descritas en el primer inciso del presente capítulo, sólo resta describir las etapas de sensado, únicas para este prototipo.



(Diagrama de bloques del segundo prototipo)
Figura 4.15. Arquitectura del prototipo II

En las siguientes imágenes se muestra la construcción física del PrototipoII



Figura 4.16. Vista lateral del prototipo II

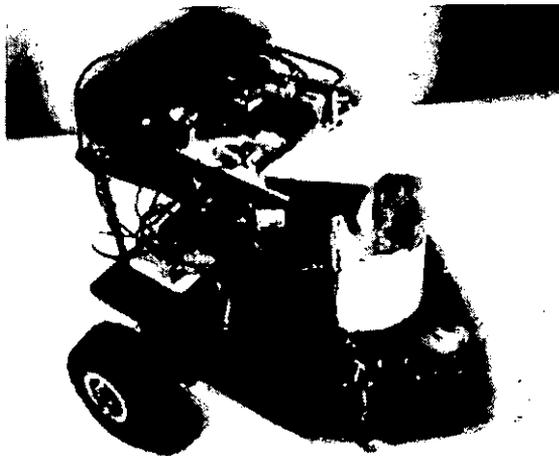


Figura 4.17. Vista superior del prototipo II

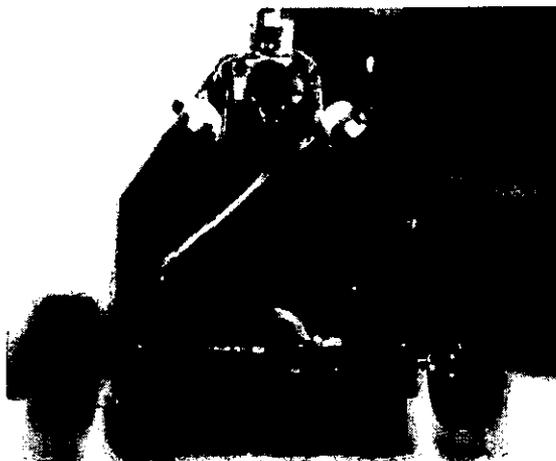


Figura 4.18. Vista inferior del prototipo II

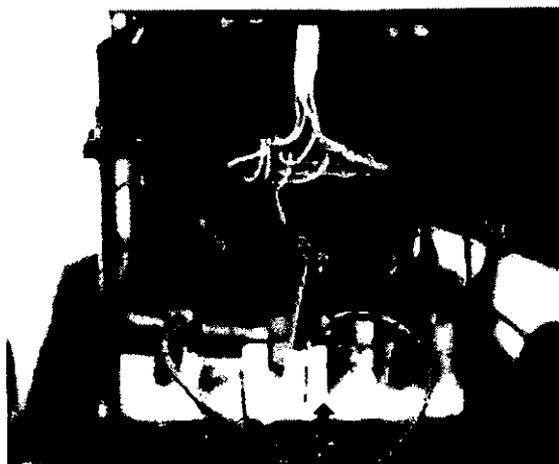


Figura 4.19 Vista Trasera del prototipo II (Parte Inferior Reguladores de voltaje)

4.3.2 Sistema de sensado

Como se puede observar en las figuras anteriores, el robot cuenta con cuatro etapas de sensores, las cuales se describen a continuación.

4.3.2.1 Los Sensores de Contacto

El robot cuenta con tres sensores de contacto, uno colocado en la parte central frontal, y los otros dos en las partes frontal-izquierda y frontal-derecha, respectivamente. Cada uno de los sensores consta de un switch y de una lámina rectangular frente a él; esta lámina permite que el área de contacto del sensor sea mayor.

El circuito eléctrico consta de solamente del switch y una resistencia; la lectura se toma en la unión de la resistencia y el switch. Esta configuración permite que la lectura del sensor sea en forma digital, ya que se tienen dos posibles valores, 0 Volts o 5 Volts ("0" o "1" lógicos). Estas lecturas de cada sensor entran directamente a un pin de algún puerto del microcontrolador HC11.

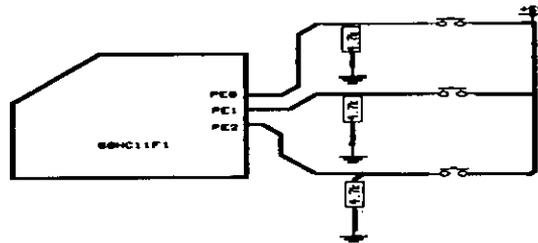


Figura 4.20. Circuito eléctrico del sensor de contacto

Los sensores le mandan un "0" lógico al microcontrolador cuando el robot no está en contacto con ningún obstáculo, y le manda un "1" lógico cuando el robot ha sufrido una colisión con algo, es decir, si el switch ha sido presionado.

El robot es vulnerable a colisiones por la parte trasera ya que no cuenta con sensores de contacto en esa zona. Sin embargo, se puede asumir que si el robot viene avanzando hacia delante y si se encuentra con un obstáculo, al avanzar en reversa, no se encontrará con ningún obstáculo. Esto solamente si el ambiente es estático y si no se presentan otros entes móviles en el mismo.

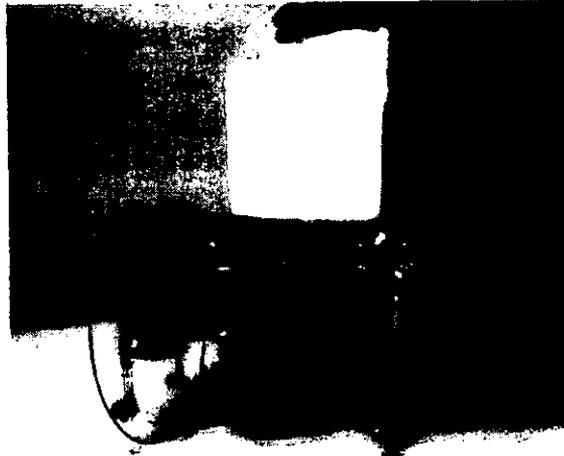


Figura 4.21 Vista Física de los Sensores de Contacto

4.3.2.2 El Sensor de Audio

El robot cuenta con un Sensor de Audio, colocado en la parte superior del robot, para su caso en la plataforma. El sensor consta de un micrófono que captura el sonido y una fase de amplificación (amplificador de audio LM386), este circuito proporciona una ganancia de 200, la función de este es aumentar la salida de voltaje, ya que los voltajes mandados por el micrófonos son muy pequeños, y oscilan entre rangos de milivolts.

La salida del amplificador se conecta a la entrada del Convertidor A/D, como se explico en el Capitulo 2 , este tipo de sensor maneja muchas variaciones de voltaje con lo cual se tiene que marcar rangos, para un funcionamiento optimo.

A continuación se muestra el Diagrama del Circuito Eléctrico Figura 4.22

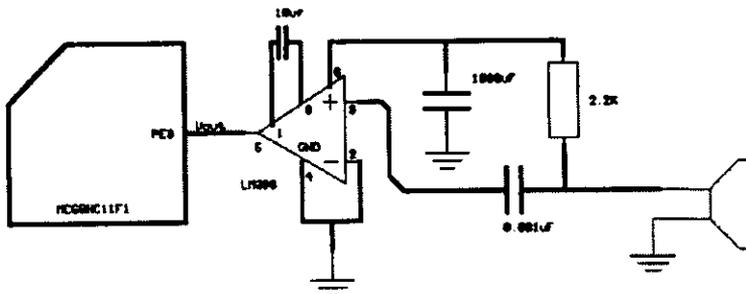


Figura 4.22 Diagrama del Circuito Eléctrico Sensor de Audio

En este caso constantemente, se monitorea el estado de los registros del resultado de la conversión A/D, si el valor capturado no rebasa un cierto umbral ya preestablecido, el robot no ejecutará ningún comportamiento, en cambio cuando llegue a detectar cierto valor más allá del umbral comenzara a comportarse de una forma determinada, mientras que este ruido persista, en el momento que pare dejará de hacerlo

Este tipo de sensor es muy sensible por lo cual habrá ciertos sonidos que por más que se quiera eliminarlos se detectaran provocando una conducta en el robot.

4.3.2.3 El Sensor de Movimiento

El sensor de movimiento está pensado para las tareas de seguimiento de objetos móviles. Es decir el robot detectara si un humano se encuentra en movimiento enfrente de él; ya sea que pase la mano o simplemente atravesándose en su camino.

El sensor como se menciona se encuentra en la parte frontal del robot, con un rango de detección de 30 grados y más o menos 4 metros. En los capitulos anteriores se describió el funcionamiento; el sensor de movimiento cuenta con un sensor de infrarrojo pasivo llamado comúnmente PIR (Piroeléctrico), lo que realmente detecta es la diferencia de temperatura en sus cristales, provocando en la salida del sensor una variación de voltaje.

Para nuestro caso se utiliza un sensor ya preestablecido, que se encuentra comercialmente, y el cual cuenta con una etapa de amplificación y además de un relevador que nos ayuda a obtener un voltaje constante a la salida cuando se presenta una detección de movimiento.

Cuando el sensor no detecta ningún movimiento tenemos en la salida un cero lógico en cambio cuando llega a detectar, se tendrá un uno lógico. Obteniendo estos valores es posible conectar la salida a un puerto de propósito general.

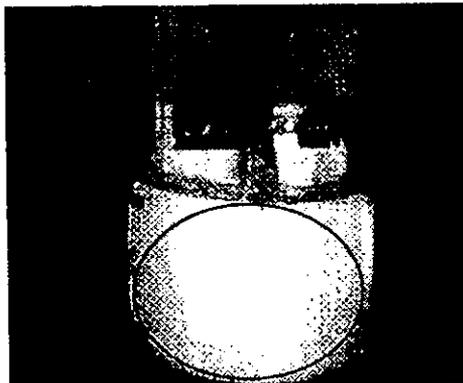


Figura 4.23 Vista Física del Detector de Movimiento

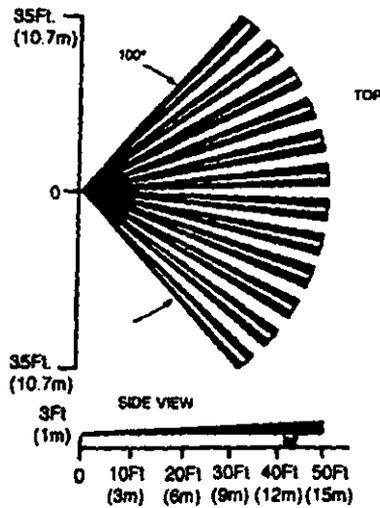


Figura 4.24 Angulo de visión del detector de movimiento [11]

4.3.2.4 Sensor de luz

El sensor de luz consta únicamente de una fotorresistencia en serie con una resistencia. La lectura se toma de la unión entre ambos elementos. Para este tipo de sensor también se necesita una etapa de comparador usando el LM339, la cual ya fue descrita en la sección del sistema de sensado del prototipo I.

El sensor está colocado en la parte frontal del robot y está pensado para los comportamientos que involucren cambios en la iluminación ambiental.

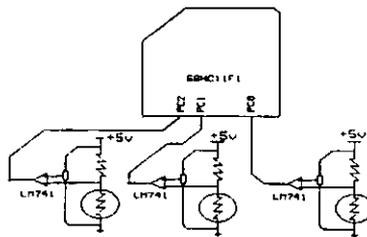


Figura 4.24 Diagrama Electrónico del Sensor de Luz

4.3.2.5 Sensor de Nivel de Batería

El robot cuenta con un sensor de nivel de batería, que permite conocer en que momento es necesario cambiar la batería de alimentación de esté.

Como se muestra en la Figura 4.24; como se explico en los subíndices anteriores de este capítulo se cuenta con una regulador de voltaje que proporciona alimentación a la circuitería con lo cual es necesario obtener la lectura antes de pasar a esta etapa, esto se logra mediante un divisor de voltaje, con lo cual solo se necesita calcular las resistencias y nosotros fijamos el voltaje optimo de operación este no debe ser mayor de 5 Volts, ya que como se ve en el diagrama se conecta al Convertidor A/D, al tener una entrada de 5 Volts el convertidor siempre estará mandando FF, si este valor empieza a decrecer da como significado que la batería empieza a descargarse, por lo cual es necesario cambiarla

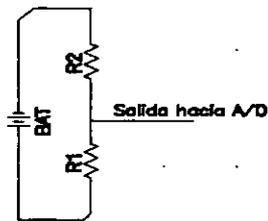


Figura 4.24 Diagrama Eléctrico del Sensor de Nivel de Batería

Capítulo 5 Criaturas de Braitenberg

5.1 Criaturas simples

Los primeros Robots que conforman a las Criaturas simples son: Tímido, Obstinado, Inseguro, Manejable, etc. Todas ellas bastante simples. La definición de criaturas simples esta relacionada con el número de sensores colocados sobre los distintos vehículos. Cada uno de ellos tiene ligado únicamente y solamente un solo tipo de sensor o mejor dicho solo monitorea con un sensor al medio ambiente.

Cada una de las criaturas consideradas simples realizara actividades de acuerdo al sensor que interactué con esté, es decir, Tímido que cuenta con un sensor de umbral ligero de luz, le permite sentir la cantidad de luz en el ambiente, con esta característica se puede asociar una conducta parecida al miedo; si un haz de luz incide sobre Tímido este tratara de alejarse de esta fuente, haciendo parecer que tuviera miedo a la luz.

Es así, como han nacido distintas criaturas las cuales simulan "comportamientos humanos", es por eso que el nombre de cada una de las Criaturas Simples esta asociado a ellos. A continuación se mostraran conductas "humanas" por medio de las Criaturas de Braitenberg.

5.1.1 Tímido (*El buscador de la sombra*)

La primera de las Criaturas de Braitenberg nos muestra la simplicidad de las etapas que lo forman, únicamente por tres etapas sensorado, potencia y control. Incluso la más simple de las combinaciones puede producir conductas interesantes. Tímido es un vehículo que consta de dos motores y una rueda loca, además un sensor con un umbral ligero; y por supuesto hacer notar la unión de un microcontrolador que ayudara a tomar las decisiones a seguir según sean los estímulos.

El rendimiento del sensor se ata a la entrada del microcontrolador y éste toma una decisión que se manda hacia la etapa de potencia y a su vez a los dos motores. Cuando la luz cae sobre el sensor, y supera el umbral, su salida se enciende. Con lo cual el microcontrolador manda datos a la etapa de potencia, para que estos lleguen a los motores, estos datos tienen implícito que motor prender y que dirección de giro tendrán. Ahora si la luz es suficiente, cayendo sobre el sensor (umbral), el vehículo va hacia delante, si no es suficiente se detiene. El umbral es fijo en el sensor.

Si la marca en el sensor es correcta al umbral, Tímido correrá cuando éste pueda "ver" que el cuarto está iluminado, y se detiene cuando deja de "ver" el estímulo luminoso. Cuando las luces se encienden, el avance de Tímido será hasta que entre en la sombra, en ese punto se detendrá. Si cualquier cosa está lanzando luz y la sombra se mueve, Tímido empezará a moverse de nuevo hasta que entre en otra sombra.

Como se describió Tímido es un vehículo autónomo, dependiente de la cantidad de luz que se encuentre en el medio ambiente que lo rodea, es decir, si el robot no percibe variaciones de luz nunca arrancara la conducta ligada a él. Por lo tanto, el trabajo asociado, es la creación del medio, lo cual juega un papel muy importante, estas variaciones de luz la mayoría de las veces no son fáciles de detectar, por lo cual el ajuste del umbral ligero es continuo. Al tener el sensor constantemente calibrado, permite un mejor desempeño del robot. Uno de los puntos esenciales de la construcción, es la programación, esta herramienta esencialmente hace funcionar al robot, la creación dependió de las distintas pruebas aplicadas a la interfaz de sensado, en este caso el desempeño que tuviera.

Una vez puesta en punto la interfaz de sensado, se empezó a capturar distintos valores, con lo cual se pudiera decidir, por medio de software si Tímido se encontraba percibiendo luz sobre él o no. El desarrollo del software esta ligado completamente a detectar el momento en que la luz incidiera sobre el robot, si este caso llegaba a pasar, el robot entraba a una subrutina, la cual indicaba a esté que huyera de ahí preñdiendo los motores en sentido contrario a la dirección de la luz. Como se muestra en el Diagrama de Flujo

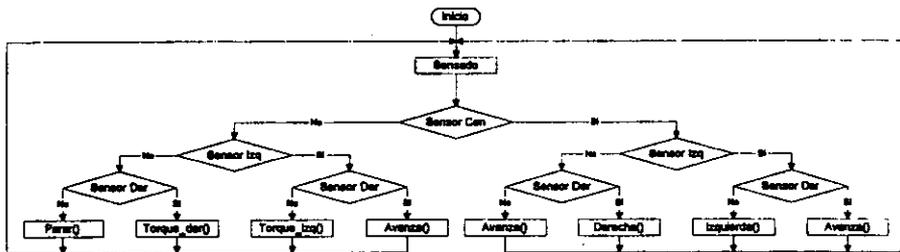


Figura 5.1 Diagrama de flujo de "Tímido"

5.1.2 Manejable (El buscador de luz)

Manejable es una criatura que todo el tiempo busca donde esta la fuente de luz. Esta criatura es diferente a las otras porque consta de tres sensores de umbral ligero, cada uno de ellos sirve para tomar una decisión de cómo tendrán que funcionar los motores. Los tres sensores se encuentran configurados de la siguiente manera:

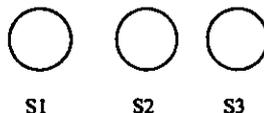


figura 5.2 Distribución de sensores

El microcontrolador se encarga de pulear el estado de cada uno de salidas de los sensores, si alguno de ellos se encuentra en alto se dice que se encuentra recibiendo luz, entonces

cuando este prendido el sensor S2 y los demás en estado bajo, la etapa de control se encarga de prender ambos motores en un solo sentido, debido a que la fuente de luz se localiza enfrente de la criatura.

En el caso de que S1 se encuentre en alto y los demás en bajo se provocara un torque izquierdo, es decir, se prende motor izquierdo hacia atrás y motor derecho hacia delante, provocando así un pivote a la izquierda, debido a que la fuente de luz se localiza en el lado izquierdo.

Por ultimo si S3 esta en alto y los demás en bajo, tenemos que realizar un torque derecho, es decir, se prende motor derecho hacia atrás y motor izquierdo hacia adelante, provocando un pivote derecho, debido a que la fuente de luz se localiza en el lado derecho.

Los otros casos se anulan, dejando a la criatura en reposo, no se mueve.

La criatura estará en reposo hasta que un estímulo luminoso cambie el estado de los sensores, y éste tratará de alcanzar esta fuente luminosa

Como en el caso de Tímido, todo el funcionamiento dependerá del desempeño optimo de la interfaz de sensado, únicamente el comportamiento para el caso de Manejable será a la inversa, en lugar de huir de la luz, Manejable siempre tratar de localizarla.

Manejable totalmente depende de los parámetros de luz existentes, como en el caso de Tímido, es necesario calibrar los sensores constantemente, si no se hace esto Manejable detectará siempre que algún haz de luz incide sobre él, es decir, todo el tiempo se propone que él, no perciba luz. La programación de Manejable es similar a Tímido, solo se tendrá que mandar prender los motores en el sentido de la dirección de la luz.

Uno de los problemas a resolver en cuestión de la programación es el umbral propuesto, para saber en que momento, Manejable percibe luz, es decir, habrá momentos en que la luz se perciba en dos sensores adyacentes, provocando confusión en el accionar de los motores. Existe un patrón que toma en consideración estos casos, dando una solución optima, haciendo mejor el desempeño del robot.

El Diagrama de Flujo se muestra a continuación

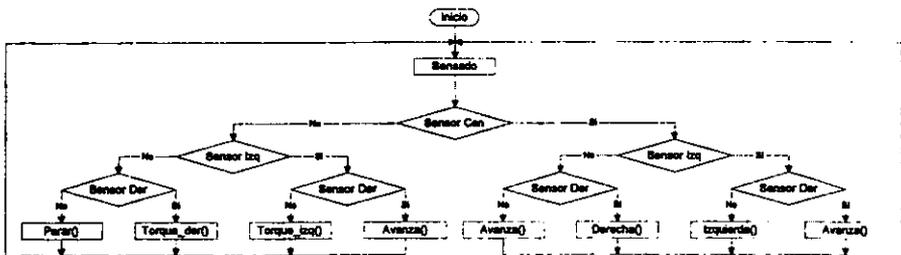


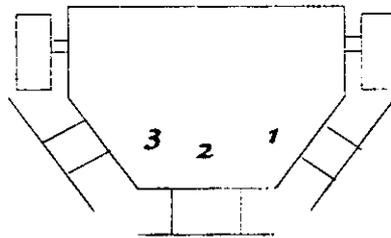
Figura 5.3 Diagrama de flujo de "Manejable"

5.1.3 Obstinado (*Evasor de obstáculos*)

Este robot es un automóvil (vehículo) que consta de dos motores independientes y una rueda loca, montados en una plataforma de acrílico. La función principal de los motores es conducir al robot hacia delante, hacia atrás, dar vuelta a la derecha o dar vuelta a la izquierda. Consta de tres sensores de toque (microswitches) y ligado a cada uno de ellos un parachoques. Cuando el parachoques se presiona, el sensor de toque se activa, y prende su salida, es decir, manda una señal al microcontrolador, para avisar que se encuentra en funcionamiento. Las salidas de los sensores están conectadas a un puerto de entrada/salida del microcontrolador, al capturar las lecturas del puerto estas serán comparadas con valores ya conocidos, la función de esta operación es conocer cual de los tres sensores de toque se encuentra activado.

Al conocer cual de los tres se encuentra en activo, es posible tomar una decisión, esta siempre dependerá del estado de los sensores de toque. Cuando el robot encuentre en su camino un obstáculo, este chocara con él, provocando una presión sobre cualquiera de los sensores de toque.

Los sensores de tacto se encuentran localizados de la siguiente manera como se muestra en la figura 5.4



- 1 sensor derecho de toque
- 2 sensor central de toque
- 3 sensor izquierdo de toq

Figura 5.4 Esquema de distribución de sensores de contacto

Al activar el sensor de la izquierda, entrara un dato al puerto del microcontrolador, captura y compara con ciertos valores ya preestablecidos, estos valores únicamente afirman si el sensor izquierdo esta en activo o no. Simplemente verifican si algún otro se encuentra en funcionamiento. Para nuestro caso el sensor de toque izquierdo esta en activo, por lo cual se pasa a una rutina, que se encarga de enviar datos a un puerto para ser transmitidos a una interface de control de motores que ayuda a dar la potencia necesaria para mover las llantas del vehículo.

Esta rutina, prendera los dos motores, con la intención de ir hacia atrás solo un instante, para evadir el obstáculo, después entraría a una rutina para prender el motor de la izquierda, también un instante y nuevamente prendería ambos motores para ir hacia delante, si no llegara a librar el obstáculo, y nuevamente se activara el sensor de la izquierda volvería a repetir los pasos anteriores, si no es el caso y uno de los otros dos sensores de toque se encuentre prendido, sucedería lo siguiente

En el caso de estar en activo el sensor de toque derecho, entra a una rutina que por un instante mandara el robot hacia atrás, luego se libera de la rutina y entrara a prender el motor de la derecha, así el robot empezara a dar vuelta, nuevamente se libera de la rutina para volver a prender los dos motores e ir hacia delante, al igual que el sensor izquierdo si se encuentre libre, verificaría los otros dos sensores.

Por último en el caso que se encuentre en activo el sensor de toque central, entraríamos a la rutina donde se prenderían ambos motores para ir hacia atrás, sería también por un instante para volver a una rutina de prender motor izquierdo o derecho. Por ultimo volvería la rutina en dos los dos motores van hacia delante.

Como se ha visto en las dos criaturas anteriores las conductas asociadas a cada uno de ellos, no son complejas, en realidad toda la construcción dependerá del buen funcionamiento de cada una de los módulos que lo conformen. Es así como la interfaz de sentido, ayudara a un desempeño optimo.

Para Obstinado tenemos el parachoques, en el cual la recuperación del switch a su estado inicial es básica, ya que si este queda accionado por una cantidad de tiempo muy alta, puede llegar a darse el caso de cambiar de ruta, sin realmente evitar el obstáculo ó en el caso de que el tiempo de recuperación del switch sea muy corto, provocará el constante choque contra el objeto.

Estos problemas se resolvieron en su mayoría por medio de software, en el momento de entrar a estas subrutinas de evasión de obstáculos (dependiendo el sensor que percibiera el primer contacto, izquierda, derecha y centro), se añadieron tiempos de respuesta, es decir, por medio de pruebas se busco un tiempo óptimo para que los motores permanecieran accionados en reversa y después volvieran avanzar. Con esta solución se logro evadir eficientemente los obstáculos, no en todos los casos, pero el desempeño fue el esperado.

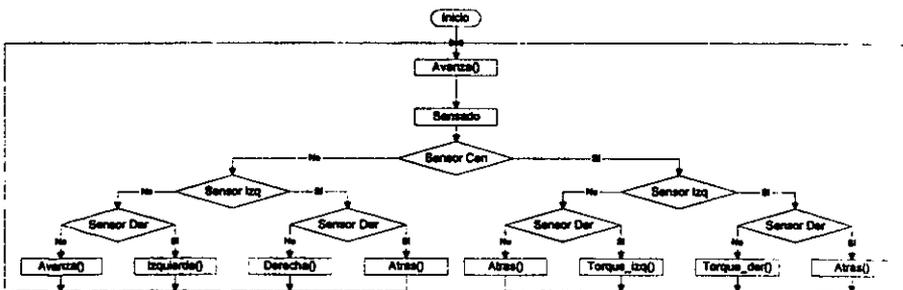


Figura 5.5 Diagrama de flujo de "Obstinado"

5.1.4 Ególatra (Detector de Ruido)

Ególatra es una de las criaturas simples que se encarga de monitorear el ambiente, es decir, detectar un sonido que llegue a perturbarlo.

Ególatra cuenta con un sensor detector de ruido, conectado a la etapa de control, el sensor se encarga de excluir ciertos ruidos en el ambiente y sólo detectara aquellos que lleguen a molestarlo. Nuestra criatura al empezar se encuentra en estado de reposo, y permanecerá así, hasta el momento, en que el detector de ruido encuentre un sonido molesto a la criatura, debido a esto, comenzará a girar en su propio eje, hasta que pare el ruido.

En el programa se tienen establecidos rangos de valores, en los cuales el robot se encuentra en reposo, ya que en el ambiente hay una cantidad de ruidos inmensa, por lo tanto es necesario discriminarlos, si no se hace este paso la criatura detecta todo como un ruido molesto, y en respuesta daría vueltas sin parar. El tiempo de giro de la criatura dependerá de la duración del ruido molesto.

La detección del sonido esta ligada a un rango de audición, como se explico en capítulos anteriores, esta depende en muchos aspectos del micrófono, al ser una señal que varia demasiado en el tiempo, fue necesario utilizar el convertidor Analógico/Digital, para obtener los rangos de audición, y así poder marcar los limites o fronteras en la cual el robot no percibirá ningún ruido molesto.

Al ser una interfaz sencilla de realizar no permite un filtrado optimo de la señal, mejor dicho no existe un filtrado de la señal, con lo cual varios ruidos son percibidos por el robot, accionando su conducta.

Es aquí donde el desarrollo del software ayuda a mejorar el desempeño del robot tratando de aislar por de medio de parámetros o rangos establecidos por pruebas, la audición del robot, en muchos casos esto no fue posible, cualquier clase de ruido accionada a Ególatra, el desempeño no fue el mejor, aun así realizo varias pruebas con éxito.

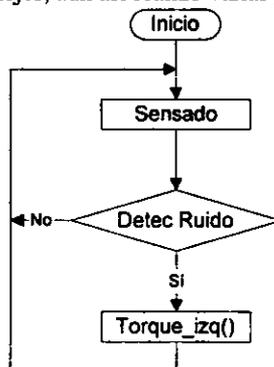


Figura 5.6 Diagrama de flujo de "Ególatra"

El Diagrama de Flujo es sencillo, sin embargo, requirió ciertos trucos en cuestión de aumentar o disminuir el tiempo de ejecución de ciertas rutinas

5.1.5 Agresivo (Ataca a los Humanos)

Agresivo es una criatura que detecta el movimiento de los humanos que se encuentren enfrente de él, es decir, cuando la criatura este quieta o en estado de reposo comenzara a funcionar el detector en busca de un cambio en el medio ambiente; si alguien pasara por enfrente, percibirá la presencia, haciendo que el robot avance durante u determinado tiempo o hasta que no detecte el movimiento otra vez.

Agresivo únicamente podra detectar movimientos que se encuentren delante de el, ya que el sensor que nos permite detectar, se encuentra en la parte delantera del robot.

Es capaz de detectar con un ángulo de 100°

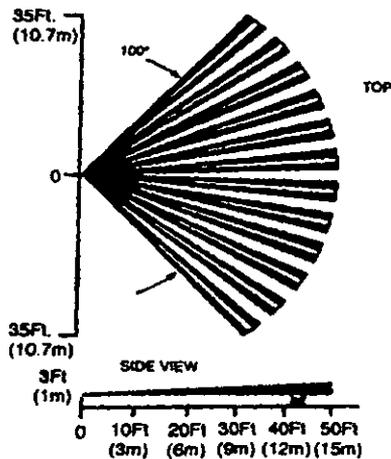


Figura 5.7 Esquema del campo de visión del sensor

Como se menciona en el Capítulo de Sensores, el dispositivo utilizado de movimiento cuenta con un infrarrojo pasivo (PIR), que detecta la emisión de infrarrojo que los seres humanos emitimos. Este sensor esta formado de dos cristales de litio-tantalio, los cuales capturan la emisión de infrarrojo, al tener variaciones entre los dos cristales su salida también cambiara de estado, por lo tanto se detectará este cambio con una variación de voltaje, la cual utilizaremos nosotros para la detección de movimiento.

Con lo que respecta a la construcción y montaje del sensor se utilizo un detector que se encuentra en el mercado, solo fue necesario hacer algunas modificaciones con respecto a la conexión con el microcontrolador.

El detector cuenta con un relevador que nos ayuda a hacer mas fácil la interacción con el microcontrolador. Solo es necesario tener un 1 lógico (voltaje 5+) conectado, y este se reflejaría en la salida , cuando se percibe el movimiento únicamente obtendremos un valor en alto y en caso contrario en bajo.

Con esta configuración solo es necesario conectar la salida del detector a un puerto del microcontrolador y este solo debe estar monitoreando la salida del detector. Es así como el robot por medio de lecturas al puerto podrá decidir si existe movimiento o no. La conducta que debe presentar el robot consiste en que en el caso de percibir algún movimiento este se moverá, decidimos que avanzara un cierto tiempo y quedar en espera hasta el próximo movimiento que detecte; si no percibe movimiento permanecerá quieto

Esta fue una de las criaturas con más problemas de construcción, ya que la respuesta del sensor variaba demasiado, según fueran las circunstancias, esta respuesta era demasiado aleatoria, había momentos que llega a un estado de reposo (No detección de movimiento) muy rápido, pero en otra prueba, era demasiado lento, con lo cual el controlarlo resulto difícil.

Otro de los casos, que continuamente se presentaban era detección del humano a todo instante, esto se debía por estar montado el sensor en el robot, aunque la persona no estuviera en movimiento el robot percibía que si lo estaba.

Todos estos casos, se tomaron en cuenta al ir desarrollando el software, sin embargo, no todos pudieron resolverse del todo, por eso el desempeño de Agresivo, no fue uno de los mejores. A continuación se muestra el Diagrama de Flujo básico

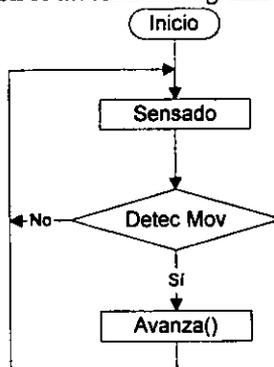


Figura 5.8 Diagrama de flujo de "Agresivo"

5.1.7 Depresivo (Monitor de Batería)

Depresivo la última de las criaturas simples, se encarga de monitorear el estado de su batería de alimentación; cuando siente que el voltaje de alimentación a caído debajo del nivel optimo de operación, empezará a mandar una señal al control para avisar que su tiempo de vida se agota, en este caso hará sonar un buzzer (alarma).

Como se plantea el problema el robot empieza a sentir tristeza, y su modo de expresarlo será mediante una conducta depresiva, provocando ruidos, y que alguien vaya ayudarlo

Esta interfaz esta ligada al convertidor A/D, y tiene un parámetro establecido, en el momento que baje del nivel accionara la conducta.

Este nivel se ajusta cuando las pilas han sido cargadas a su totalidad, en el caso que no sucediera así, el parámetro no seria el mejor.

Se muestra el diagrama de Flujo

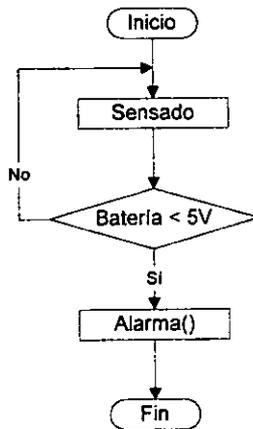


Figura 5.9 Diagrama de flujo de "Depresivo"

5.2 Criaturas Complejas

5.2.1 Persistente (Seguidor de línea)

Persistente utiliza seis sensores (transmisor / emisor de infrarrojo) que están distribuidos de la siguiente forma: dos se encuentran en la parte trasera del robot, inmediatamente enfrente de los dos motores de DC, alineados en forma transversal con respecto al largo del robot, tres se encuentran inmediatamente enfrente de los dos sensores mencionados, alineados en forma longitudinal con respecto al largo del robot y con una separación entre ellos de 1 cm, tomando la distancia de la parte central de cada uno de ellos; y un delantero a una distancia perpendicular a los tres medios de 8.6 cm e inmediatamente atrás de la rueda delantera de apoyo, Figura 5.4.



Figura.5.10 Distribución de los sensores reflectivos

La forma de trabajo de los tres sensores medios es la siguiente: asumiendo que el robot se encuentra sobre la línea blanca de 1.5 cm de grosor, el sensor central estaría sobre ella, mientras que los laterales, se encontrarían apuntando al fondo negro, lo que le indicara al sistema de control que el robot deberá dar la orden al sistema motriz para avanzar simplemente hacia delante. Si alguno de los sensores laterales llegara a posicionarse sobre la línea blanca durante el recorrido del robot, y además el sensor central aún continúa sobre la línea, la acción a seguir será de dar vuelta ya sea a la derecha o a la izquierda según sea el sensor que haya quedado sobre la línea. Dado el caso en que el sensor central quedara sobre el fondo negro y alguno de los sensores laterales estuviese sobre la línea, el robot realizará un torque en el sentido adecuado para seguir en la línea.

Si los tres sensores medios quedan sobre el fondo negro, se asume que se ha llegado a una discontinuidad y el sensor delantero se utiliza para encontrar el camino a seguir, realizando una maniobra de abanico doble hacia la derecha y luego hacia la izquierda con la ayuda de los movimientos de torque, siendo la primera maniobra con un rango limitado, y la segunda abarcando más terreno; inmediatamente que el sensor delantero encuentre la línea blanca, el robot avanzará en línea recta hacia esa posición hasta que alguno de los sensores traseros detecten la línea, entonces, se pasa el control nuevamente a ellos; si el sensor delantero no encuentra la línea, se asume que ha llegado al final de la trayectoria y se detiene.

5.2.2 Vagabundo

Esta Criatura percibe su entorno a través de un mayor numero de sensores; permitiéndole tener un desempeño mas completo. La conducta que debe presentar el robot es la de permanecer todo el tiempo alerta, es decir, buscando la luz. Desde el principio estará caminando hacia el frente y será capaz de evitar obstáculos, se detendrá al escuchar algún ruido fuerte y quedara de nuevo en estado de alerta y continuara avanzando.

Esta conducta la obtenemos integrando las básicas de las criaturas: manejable, obstinada y ególatra. A través de los sensores de luz podrá dirigirse hacia la luz, sin embargo al no percibir luz avanzara al frente. Mientras avanza la criatura puede esquivar los obstáculos con los que se enfrente, gracias a los 3 sensores de contacto que se encuentran alrededor de él. Finalmente se detendrá cuando el micrófono perciba un ruido que sobrepase el umbral establecido.

Los problemas que se presentaron fue la integración de los distintos sensores, ya que se tenia que dar preferencia a ciertas conductas antes que otras, como se menciona las criaturas complejas es la integración de distintas criaturas simples.

En el programa se tuvo que dar prioridades para cada una de estas, puleando cada una de las interfaces, por intervalos de tiempo.

Es así como básicamente se logro ensamblar cada una de las partes que conformaban a Vagabundo

Se muestra el diagrama de Flujo básico

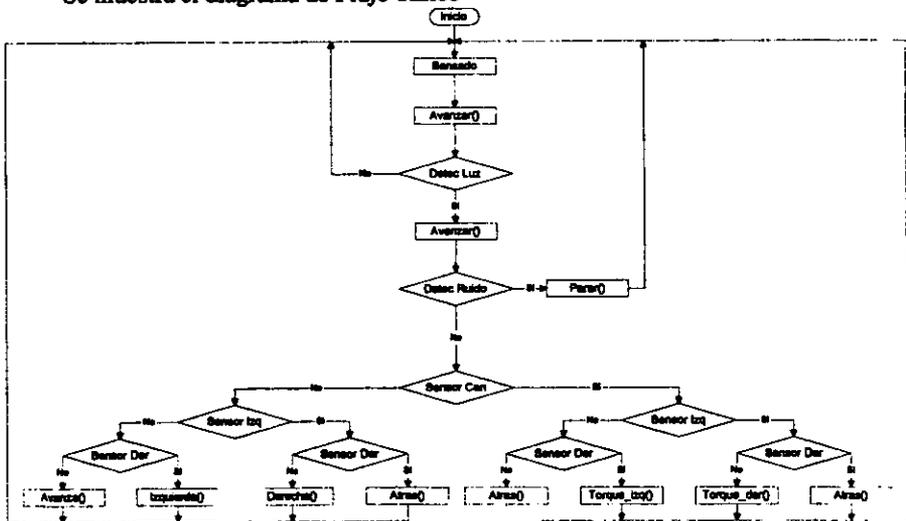


Figura 5.12 Diagrama de flujo de "Vagabundo"

Agresividad: que provoca o ataca. Desequilibrio psicológico que provoca hostilidad.

Depresivo: pérdida de fuerzas, estado de melancolía que hace perder el ánimo.

Ególatra: culto de sí mismo.

Manejable: fácil de manejar o conducir.

Obstinado: pertinaz, testarudo, insistente.

Persistente: permanecer constante, que dura.

Tímido: del latín timudus. Miedoso, encogido, temeroso.

Vagabundo: que anda errante.

Capítulo 6 Resultados y Conclusiones

6.1 Resultados

Un resultado de este trabajo es la concepción de dos robots móviles, los cuales se diseñaron a partir de modelos simples de acción, es decir, son una adaptación de diferentes arquitecturas motrices.

Debido a la dificultad de unir dispositivos mecánicos obtuvimos dos vehículos que se basan, cada uno de ellos en motores independientes para cada llanta. Donde cada motor contiene un reductor.

En los primeros diseños se trataron de acoplar distintos coches de control remoto, los cuales cuentan ya con un dispositivo mecánico integrado, al modificarlos surgieron problemas en cuestión de peso al no poder moverse ni con la rapidez ni maniobrabilidad necesaria, por lo cual se desechó la idea.

El aumento de peso en el robot no se podía eliminar, ya que la interacción de distintas interfaces con el microcontrolador es indispensable para los objetivos planteados en la Tesis.

Con respecto a las interfaces (sensores) que ayudan al robot móvil a percibir su medio ambiente, el trabajo de campo fue exhaustivo, al ir creando cada una de ellas siempre existió el problema de adaptarlas, el funcionamiento no era lo más óptimo para nuestro trabajo, por cual las pruebas de entrenamiento tardaban algún tiempo. Cada una de estas interfaces, requirió muchas y distintas pruebas, para lograr que el robot se comportara según lo percibido en el ambiente y a nuestros objetivos (Criaturas de Braitenberg).

Una vez que implementamos las criaturas se nos presentaron varios problemas cuando utilizamos los sensores de luz. Resultó un poco difícil calibrarlos para pudieran discriminar la luz ambiental y la que debería seguir, ya que al aumentar la intensidad de la ambiental por momentos se perdía el robot.

De manera semejante al detector de ruido le tuvimos que ajustar la sensibilidad para que reaccione solo a ciertos rangos de sonido.

En lo que respecta al seguidor de línea, para su óptimo funcionamiento, es necesario ajustar la altura de los sensores, dependiendo de la cantidad de luz que refleje la superficie de la pista.

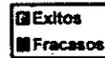
Otro ajuste importante fue la velocidad de los vehículos ya que si son veloces no alcanzan a reaccionar oportunamente a pesar de la sensibilidad de los sensores, ya sean los ópticos reflectores o los de contacto.

Todos los programas fueron realizados en lenguaje ensamblador; ya que después de muchas pruebas resulto ser el mas eficiente, entre el lenguaje de programación C para el microprocesador y el ensamblador. Los programas son mas efectivos y tienen un menor consumo de memoria.

6.1.1 Resultados particulares

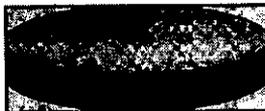
Criatura "Tímido"

La efectividad de esta criatura es del 70%, esto debido al problema que se nos presentó para adecuar la intensidad de la luz ambiental, ya que por algunos momentos el robot percibía todo a su alrededor como iluminado. Tomó decisiones erróneas ya que los tres sensores captaban demasiada luz, por lo tanto no cumplía su objetivo. Parte del problema es que debía huir de la luz que provenía de varias lámparas de mano, cuando ésta incidiera sobre él, pero llegaba a confundirla con la ambiental. Usamos varias lámparas para que el vehículo demostrara más claramente su conducta a la luz. La solución fue calibrar los sensores continuamente, es decir, cada dos o tres experimentos, ya que las condiciones de luz ambiental no variaban en este lapso.



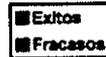
Criatura "Manejable"

La efectividad es del 80%, el comportamiento es opuesto al "Tímido", es decir debe seguir la fuente de luz. Resultó más eficiente el seguir la fuente que huir de ella, ya que sólo había una fuente de luz, no así el caso anterior. Presentó problemas de la misma naturaleza que el "Tímido" y de igual forma se resolvió calibrando sus sensores con cierta periodicidad.



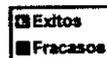
Criatura "Obstinado"

La eficiencia es del 90%, sólo una vez no pudo salir del laberinto. Las demás ocasiones logró salir del laberinto, sin embargo, no siempre podía esquivar los obstáculos con rapidez, en ocasiones golpeaba con el obstáculo varias veces para poder librarlo. Con lo cual el tiempo de resolución del laberinto es variado. Muchas veces el desempeño dependía de la parte con la que el robot hacía colisión con el obstáculo. En esta criatura no tuvimos problemas con los sensores, sin embargo pudo haber mejorado su desempeño el colocar otro sensor de contacto en la parte trasera del vehículo, ya que en ocasiones el algoritmo lo obligaba a irse hacia atrás y chocaba con otro obstáculo que ya había pasado y un sensor trasero, al advertir este objeto, facilitaría a ahorrar tiempo.

***Criatura "Ególata"***

Su eficiencia fue del 80% esto se debió a la dificultad de poder tener calibrada la interfaz al 100% ya que por momentos captaba casi cualquier ruido del ambiente, disparando su comportamiento, desde un simple golpe sobre la mesa o el hablar de una persona.

El objetivo del robot es que solo reaccionara con ciertos rangos de sonidos, como un aplauso o un sonido en especial. La forma de corrección es calibrar la interfaz, elevando el rango de percepción del micrófono.



Criatura "Agresivo"

Su eficiencia fue del 60%, el problema que presento fue la inconsistencia en las lecturas obtenidas por el sensor de movimiento, ya que es un sensor comercial, no se lograr calibrar como nosotros quisiéramos.

El tiempo de respuesta era aleatorio, es decir, en ciertos experimentos respondía al momento, mientras que en otras ocasiones lo hacia hasta el segundo o tercer movimiento del sujeto.

Al principio una vez que captaba movimiento permanencia dentro de un ciclo del que no podía salir, debido a que cuando capta el movimiento envía una señal y esta permanece un cierto lapso de tiempo, el cual era muy grande.

Como el robot avanza y gira un determinado tiempo; ese instante llegaba a traslaparse con el tiempo de detección, provocando la ejecución de la conducta una y otra vez.

La mejor solución fue hacer pruebas con diferentes tiempos sin llegar a tener una respuesta optima, pero lo suficientemente eficiente



| | |
|---|----------|
| ■ | Exitos |
| ■ | Fracasos |

Criatura "Persistente"

La eficiencia es del 100% su buen desempeño se debe en parte a la cantidad de sensores, ya que nos permiten tener una mas clara percepción del ambiente y por otra parte la complejidad del algoritmo empleado, ya que abarca una gran cantidad de posibles situaciones.

Es la criatura a la que se le invirtió mas tiempo de desarrollo.

Tiene la ventaja de poderse ajustar sus sensores a diferentes alturas, esto es útil aunque las superficies son negras varia en la cantidad que pueden reflejar, por citar el viril y el mosaico.

Ajustando altura podemos discriminar la luz extra que refleja la superficie



Criatura "Vagabundo"

Su eficiencia es del 80 %, los principales problemas fueron la integración de varios tipos de sensores en una sola estructura de robot, cada tipo de sensor arrastró sus propias dificultades de desempeño, causando así que aumentaran los problemas de calibración tanto físico como de software. La parte más problemática fue la de seguir a la fuente emisora de luz, no así el desplazamiento y la evasión de obstáculos, aunque sí tuvimos algunos problemas para calibrar el sensor de sonido, ya que en ocasiones el robot detenía su comportamiento por ruidos muy bajos.



6.2 Conclusiones

En cuanto al equipo electrónico usado, es importante indicar las razones por las cuales utilizamos ese equipo en específico y no otras alternativas. Para empezar, con respecto al circuito integrado regulador de voltaje a 5 volts, que fue utilizado para la alimentación de toda la circuitería electrónica, usamos el 7805, este circuito es el más famoso y utilizado dentro de nuestra área ingenieril, es de gran disponibilidad y existe mucha información de él, además, es económico.

Con respecto al sistema Motriz, la razón por la que no usamos otra configuración de ruedas (por ejemplo, tracción atrás y una rueda delantera de dirección) es porque no podíamos realizar giros sobre un eje de rotación sin desplazamiento, por otro lado, usando la configuración que implementamos (la de dos ruedas traseras para tracción y dirección) podemos realizar giros sin que el carro se desplace. Sin embargo, esta configuración no es buena en aplicaciones donde la velocidad de desplazamiento del robot es crucial, ya que al realizar giros, el robot pierde velocidad. En la otra configuración que se mencionó se puede tener velocidad constante en rectas y curvas, óptimo para competencias de seguimiento de líneas.

Para la circuitería de potencia, no hay mucho que decir, los circuitos L293 y L298 son de fácil adquisición en el D.F.

Si acaso, donde podría haber algo de controversia es en el sistema de control. Nosotros utilizamos el HC11 en primer lugar porque es el microcontrolador con el cual tenemos más experiencia y además contábamos con él físicamente y toda la documentación necesaria. Llegamos a saber de otros circuitos integrados, como el Intel 8050 o el PIC de Microchip. Sin embargo, el HC11 tenía una gran ventaja sobre el micro de Intel, ya cuenta con memoria RAM, EEPROM, Convertidor Analógico Digital, Puerto serial NRZ, etc., todo en un mismo chip. Con respecto al PIC, era un micro en el cual no contamos con experiencia, por lo que tuvimos que descartar su uso. Sabíamos que el PIC tiene gran potencial para el control de máquinas con gran velocidad de respuesta, y además su tamaño es pequeño, por lo que es muy bueno para robots medianos y pequeños, como nuestros prototipos.

Este trabajo llegó a cumplir la mayoría de los puntos planteados para su implementación, cabe mencionar que la investigación está fundamentada en la Teoría de Criaturas de Braitenberg, la cual, por medio de un enfoque Psicológico nos muestra el funcionamiento de ciertos actos o conductas ligadas a un efecto externo al sujeto de prueba, es decir, la hipótesis de estímulo-respuesta.

Nuestro trabajo está centrado en la construcción de ciertas "criaturas" (robots móviles llamadas así por Braitenberg).

Braitenberg planteó ciertas criaturas todas ellas imaginarias que responden a ciertos cambios en su medio ambiente, como podría ser variación de luz, sonido, movimiento, cambios de trayectoria (colisiones), etc.

Todos estos cambios en el medio (estímulo) darían como respuesta un cierto tipo de conducta asociada, Braitenberg tomó la decisión de clasificarlas de una manera específica, ligando un término comúnmente asociado a actos humanos, como puede ser la depresión, egocentrismos, nerviosismo, exaltación, manejabilidad, etc. Basados en este trabajo, se realizó la construcción de ciertas criaturas, que podían percibir el medio ambiente debido a sensores montados en estos. La investigación previa que llevamos a cabo se enfocó a encontrar o localizar cierta clase de sensores, que permitieran en este caso a ayudar a nuestros robots a percibir factores de cambio (estímulos).

Gran variedad de sensores fueron sometidos a distintas pruebas para garantizar un funcionamiento óptimo, por citar algún ejemplo tenemos la interfaz que nos ayudó a poder sentir sonido, esta interfaz permite al robot escuchar un ruido, como puede ser un aplauso, un silbido, etc. Como se mencionó en el capítulo de Sensores, existen ciertos problemas de discriminación del sonido, al ser una interfaz muy básica esta puede percibir la mayoría de los ruidos en el ambiente. Al final de varias pruebas y distintas implementaciones se llegó a construir una interfaz que consideremos confiable, en la cual podemos llegar a discriminar el simple hecho de percibir voces alrededor, ya que por momentos el robot podía percibirlo. Todos los sensores utilizados en las distintas criaturas fueron sometidos a diferentes pruebas antes de ser montados a cada una de los robots.

A continuación cada uno de estos sensores fue colocado en el robot, con lo cual se asignó un comportamiento adecuado al sensor en prueba. Es así como surgió Timido, Indeciso, Obstinado, Ególatra, Persistente, etc.

Cada una de las criaturas creadas tanto como simples o complejas fueron puestas a prueba, es decir, se sometieron a distintos experimentos o repeticiones de su conducta, el propósito era conocer la eficiencia de estas, como se muestra en las tablas anexas en el capítulo Criaturas de Braitenberg, en todos los casos se hicieron 10 repeticiones, dando distintos resultados, en ciertos experimentos llegaban a completar la tarea propuesta sin fallos, pero había momentos en que totalmente era equívoca su conducta, por lo tanto de 10 pruebas realizadas sólo 6 o 7 eran exitosas.

La dificultad se debe al tiempo de respuesta de cada una de las interfaces, y el tiempo asignado a monitorear cada una de ellas, por lo tanto la programación de este tipo de criaturas debe ser lo más óptimo posible.

En este trabajo se desarrollaron varias de las criaturas propuestas por Braitenberg y se innovaron algunas otras.

El Persistente, una de las Criaturas innovadas, se presentó en el Concurso Nacional de Minirobótica, obteniendo el primer lugar, esta es una manera de incentivar a los alumnos de Ingeniería en ahondar en el área de Robots móviles y dar a conocer el trabajo de las Universidades.

Podemos concluir que implementar conductas básicas es relativamente sencillo, pero al intentar acoplar varias de ellas requiere de muchas adecuaciones, tanto en hardware como en software, el hecho de construir físicamente un robot puede parecer sencillo, aunque la mayor dificultad reside en la precisión y exactitud que debe tener un robot; en muchas ocasiones en que se utiliza el robot, uno no puede tener exactamente el mismo resultado, debido a inexactitudes en la construcción del mismo.

En lo que se refiere al software se debe encontrar un equilibrio entre todas las etapas de sentido, dando el debido peso o preferencia a ciertas etapas críticas.

Finalmente deseamos hacer constatar que realizar pequeños diseños y desarrollos entre estudiantes es posible, pero necesita empeño y dedicación; para que posteriormente sea posible llegar a grandes desarrollos e innovaciones.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Bibliografía

- [1] Encarta Microsoft
- [2] **Barrientos Antonio**
Fundamentos de Robótica
- [3] **Joseph H. Jones**
Anita M.Flyn
Inspiration to Implementation Mobile Robots
Wellesley Massachusetts 1993
- [4] **H. R. Everette**
Sensor for Mobile Robots Theory and Applications
Wellesley Massachusetts 1993
- [5] **Gordon Mc Comb**
Robot Builders Bonanza 99 Inexpensive Robotics Projects
Mc Graw Hill
- [6] **Motorola**
MC68HC11F1 Technical Data
Motorola 1993 Rev 3.0
- [7] **Cátalogo Grainger**

Consultas en Internet

- [8] <http://www.questlink.com>
- [9] <http://www.seattlerobotics.org>
- [10] <http://www.motorola.com>
- [11] <http://www.radioshack.com>
- [12] <http://www.national.com>
- [13] <http://www.media.mit.edu/people/fredm/papers/vehicles>
- [14] <http://people.cs.uchicago.edu>
- [15] <http://www.creaturoides.com>
- [16] <http://www.harris.com>
- [17] <http://www.acroname.com>

Modelo del Programador

La figura A.2 muestra los siete registros de la CPU disponibles para el programador. Los registros de la CPU son una parte integral de la CPU y no son direccionados como si fueran localidades de memoria.

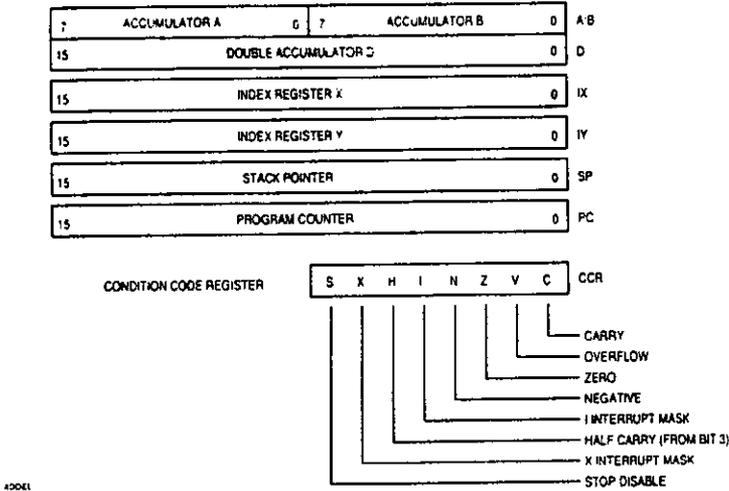


Figura A.2. Modelo del Programador del MC68HC11F1

Los acumuladores A y B son acumuladores de 8 bits de propósito general usados para retener operandos y resultados de cálculos aritméticos o manipulaciones de datos. Los dos acumuladores de 8 bits (A y B) pueden ser usados por algunas instrucciones como un solo registro de 16 bits llamado el registro D, que permite el uso de un conjunto de operaciones de 16 bits aunque la CPU sea técnicamente un procesador de 8 bits.

Los registros de índice de 16 bits IX y IY son usados para el modo de direccionamiento indexado o también como registros de propósito general. En el modo de direccionamiento indexado, el contenido de un registro de índice de 16 bits es sumado a un desplazamiento de 8 bits, el cual está incluido como parte de la instrucción, para formar la dirección efectiva del operando a ser usado en la instrucción.

El MC68HC11F1 soporta automáticamente una pila de programa. Esta pila puede ser colocada en cualquier parte dentro del espacio de direcciones de los 64 Kbytes y puede ser de cualquier tamaño hasta la cantidad de memoria disponible en el sistema. Cada vez que un byte es empujado a la pila, el apuntador de pila (SP) es automáticamente decrementado, y cada vez que un byte es extraído de la pila, el apuntador de pila es automáticamente incrementado. En cualquier momento dado, el registro de apuntador de pila contiene la

dirección de 16 bits de la siguiente localidad libre en la pila. La pila es usada para llamadas a subrutinas, interrupciones, y para almacenamiento temporal de valores de datos.

El contador de programa (PC) es un registro de 16 bits que contiene la dirección de la siguiente instrucción a ser ejecutada.

El Registro de Código de Condición (CCR) contiene cinco indicadores de estado, dos bits de máscara de interrupciones y un bit de deshabilitación de STOP. Las cinco banderas de estado reflejan los resultados de operaciones aritméticas y otras de la CPU mientras ejecuta instrucciones. Las cinco banderas son acarreo medio (H), negativo (N), cero (Z), sobreflujo (V) y acarreo/préstamo (C). El bit de deshabilitación de STOP es usado para permitir o restringir la instrucción STOP. Los bits de máscara de interrupciones habilitan y deshabilitan las interrupciones del microcontrolador.

Modos de Direccionamiento

En la CPU del MC68HC11 pueden ser usados seis modos de direccionamiento usados para hacer referencia a memoria: inmediato, directo, extendido, indexado, inherente y relativo. Todos los modos excepto el modo inherente usan una dirección efectiva (de 16 bits). La dirección efectiva es la dirección de memoria de la cual el argumento es extraído o almacenado, o la dirección de la cual procederá la ejecución de la siguiente instrucción del microcontrolador. La dirección efectiva puede ser especificada dentro de una instrucción, o puede ser calculada.

Inmediato (IMM)

En el modo de direccionamiento inmediato, un argumento es contenido en el(los) byte(s) inmediatamente después del código de operación (opcode). El número de bytes después del opcode corresponde con el tamaño del registro o localidad de memoria en el cual se opera. La dirección efectiva es la dirección del byte que sigue a la instrucción.

Directo

En el modo de direccionamiento directo, el byte de más bajo orden de la dirección de operando está contenida en un simple byte después del código de operación, y el byte de más alto orden de la dirección se asume que es \$00. Por lo tanto, las direcciones \$00-\$FF son accedidas directamente. En la mayoría de las aplicaciones, esta área de 256 bytes es reservada para datos a los que se refiere frecuentemente.

Extendido

En el modo de direccionamiento extendido, la dirección efectiva del argumento está contenido en dos bytes después del byte de código de operación.

Indexado

En el modo de direccionamiento indexado, un desplazamiento (offset) de 8 bits sin signo contenido en la instrucción es sumada al valor contenido en un registro índice, ya sea IX o IY. La suma es la dirección efectiva. Este modo de direccionamiento permite hacer referencia a cualquier localidad de memoria en el espacio de direcciones de 64 Kbytes.

Inherente

En el modo de direccionamiento inherente, toda la información necesaria para ejecutar la instrucción está contenida en el código de operación. Operaciones que usan sólo los registros de índice o acumuladores, al igual que las instrucciones de control sin argumentos, están incluidas en este modo de direccionamiento.

Relativo

El modo de direccionamiento relativo es usado sólo en las instrucciones de salto. Si la condición de salto es verdadera, un desplazamiento signado de 8 bits incluida en la instrucción es sumada al contenido del contador de programa para formar la dirección de salto efectiva. En caso contrario, el control procede a la siguiente instrucción.

Modos de operación

Los valores de las entradas de selección de modo MODB y MODA durante el reinicio (reset) del microcontrolador determinan el modo de operación de este. Los modos Single chip y expandido son los modos normales. En el modo single-chip sólo están disponibles los recursos en el chip. Sin embargo, el modo expandido permite acceso a memoria externa o dispositivos periféricos. Cada uno de estos dos modos normales tiene un modo especial. El modo Bootstrap, una variación del modo single-chip, ejecuta un programa de arranque desde una ROM interna. El modo Test es la extensión del modo expandido y permite acceso a recursos internos.

Modo de operación Single-Chip

En el modo de operación single-chip, el MC68HC11F1 no tiene bus de direcciones externo ni de datos. Los puertos B, C y F están disponibles para Entrada/Salida de propósito general.

Modo de operación Expandido

En el modo de operación expandido, el microcontrolador puede acceder un espacio de direcciones físico de 64 Kbytes. El espacio de direcciones incluye las mismas direcciones de memoria dentro del chip usadas para el modo single-chip, complementarias a la memoria externa y dispositivos periféricos. El bus de expansión lo conforman los puertos B, C, F y la señal R/W.

Modo especial de prueba

El modo especial de prueba, una variación del modo expandido, es principalmente usado durante pruebas de producción internas de Motorola; sin embargo, es accesible para programar el registro CONFIG y datos de calibración en la EEPROM, y para soporte de emulación y depuración durante el desarrollo de alguna aplicación.

Modo especial Bootstrap

El modo bootstrap es una variación especial del modo single-chip. El modo bootstrap permite que se introduzcan en la RAM interna programas de propósito especial. Cuando el modo boot es seleccionado al reset, una pequeña ROM de atrape de arranque se vuelve presente en el mapa de memoria. Esta ROM contiene un programa pequeño que inicializa el SCI y permite al usuario bajar un programa de hasta 1024 bytes en la RAM interna.

Memoria interna

El MC68HC11F1 contiene 1024 bytes de RAM en el chip y 512 bytes de EEPROM. La ROM que contiene el programa de arranque para el modo bootstrap ocupa 256 bytes. Las localidades de memoria para los recursos en el chip son las mismas para los modos expandido y single-chip.

El bloque de registros de 96 bytes tiene su origen en \$1000, la RAM interna es inicialmente localizada en \$0000 y los 512 bytes de EEPROM está inicialmente localizadas en \$FE00. En el modo especial bootstrap, una ROM es habilitada en las localidades \$BF00-\$BFFF. El mapa de memoria se muestra a continuación.

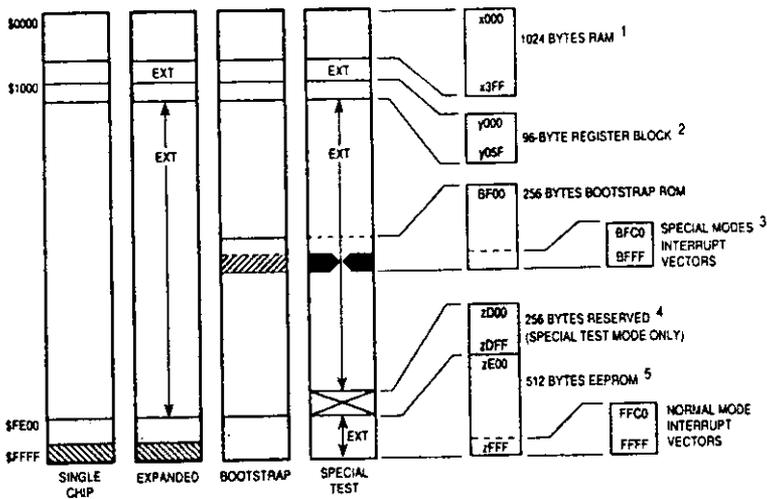


Figura A.3. Mapa de memoria del MC68HC11F1

En la tabla A.1 se muestra un resumen de los registros y bits de control, las direcciones de este bloque de registros de 96 bytes se muestran usando el mapeo de bloque por defecto (\$1000-\$105f).

| | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------------|
| \$1000 | PA7 | PA6 | PA5 | PA4 | PA3 | PA2 | PA1 | PA0 | PORTA |
| \$1001 | DDA7 | DDA6 | DDA5 | DDA4 | DDA3 | DDA2 | DDA1 | DDA0 | DDRA |
| \$1002 | PG7 | PG6 | PG5 | PG4 | PG3 | PG2 | PG1 | PG0 | PORTG |
| \$1003 | DDG7 | DDG6 | DDG5 | DDG4 | DDG3 | DDG2 | DDG1 | DDG0 | DDRG |
| \$1004 | PB7 | PB6 | PB5 | PB4 | PB3 | PB2 | PB1 | PB0 | PORTB |
| \$1005 | PF7 | PF6 | PF5 | PF4 | PF3 | PF2 | PF1 | PF0 | PORTF |
| \$1006 | PC7 | PC6 | PC5 | PC4 | PC3 | PC2 | PC1 | PC0 | PORTC |
| \$1007 | DDC7 | DDC6 | DDC5 | DDC4 | DDC3 | DDC2 | DDC1 | DDC0 | DDRC |
| \$1008 | 0 | 0 | PD5 | PD4 | PD3 | PD2 | PD1 | PD0 | PORTD |
| \$1009 | 0 | 0 | DDD5 | DDD4 | DDD3 | DDD2 | DDD1 | DDD0 | DDRD |
| \$100A | PE7 | PE6 | PE5 | PE4 | PE3 | PE2 | PE1 | PE0 | PORTE |
| \$100B | FOC1 | FOC2 | FOC3 | FOC4 | FOC5 | 0 | 0 | 0 | CFDRRC |
| \$100C | OC1M7 | OC1M6 | OC1M5 | OC1M4 | OC1M3 | 0 | 0 | 0 | OC1M |
| \$100D | OC1D7 | OC1D6 | OC1D5 | OC1D4 | OC1D3 | 0 | 0 | 0 | OC1D |
| \$100E | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | TCNT (High) |
| \$100F | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | TCNT (Low) |
| \$1010 | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | TIC1 (High) |
| \$1011 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | TIC1 (Low) |
| \$1012 | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | TIC2 (High) |
| \$1013 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | TIC2 (Low) |
| \$1014 | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | TIC3 (High) |
| \$1015 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | TIC3 (Low) |
| \$1016 | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | TOC1 (High) |
| \$1017 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | TOC1 (Low) |
| \$1018 | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | TOC2 (High) |
| \$1019 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | TOC2 (Low) |

| | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | |
|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------------|
| \$101A | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | TOC3 (High) |
| \$101B | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | TOC3 (Low) |
| \$101C | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | TOC4 (High) |
| \$101D | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | TOC4 (Low) |
| \$101E | Bit 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | Bit 8 | T14/O5 (High) |
| \$101F | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | T14/O5 (Low) |
| \$1020 | OM2 | OL2 | OM3 | OL3 | OM4 | OL4 | OM5 | OL5 | TCTL1 |
| \$1021 | EDG4B | EDG4A | EDG1B | EDG1A | EDG2B | EDG2A | EDG3B | EDG3A | TCTL2 |
| \$1022 | OC1I | OC2I | OC3I | OC4I | I4/O5I | IC1I | IC2I | IC3I | TMSK1 |
| \$1023 | OC1F | OC2F | OC3F | OC4F | I4/O5F | IC1F | IC2F | IC3F | TFLG1 |
| \$1024 | TOI | RTI1 | PAOVI | PAI1 | 0 | 0 | PR1 | PR0 | TMSK2 |
| \$1025 | TOF | RTIF | PAOVF | PAIF | 0 | 0 | 0 | 0 | TFLG2 |
| \$1026 | 0 | PAEN | PAMOD | PEDGE | 0 | I4/O5 | RTR1 | RTR0 | PACTL |
| \$1027 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | PACNT |
| \$1028 | SPIE | SPE | DMOM | MSTR | CPOL | CPHA | SPR1 | SPR0 | SPCR |
| \$1029 | SPIF | WCOL | 0 | MOOF | 0 | 0 | 0 | Bit 0 | SPSR |
| \$102A | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | SPDR |
| \$102B | TCLR | 0 | SCP1 | SCP0 | RCKB | SCR2 | SCR1 | SCR0 | BAUD |
| \$102C | RB | TB | 0 | M | WAKE | 0 | 0 | 0 | SCCR1 |
| \$102D | TIE | TCIE | RIE | ILIE | TE | RE | RMU | SBK | SCCR2 |
| \$102E | TDRE | TC | RDRF | IDLE | OR | NF | FE | 0 | SCSR |
| \$102F | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | SCDR |
| \$1030 | OCF | 0 | SCAN | MULT | OD | OC | CB | CA | ADCTL |
| \$1031 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | ADR1 |
| \$1032 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | ADR2 |
| \$1033 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | ADR3 |
| \$1034 | Bit 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Bit 0 | ADR4 |
| \$1035 | 0 | 0 | 0 | PTCON | BPRT3 | BPRT2 | BPRT1 | BPRT0 | BPROT |
| \$1036 | | | | | | | | | Reserved |

| | Br 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Br 0 | |
|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| \$1037 | | | | | | | | | Reserved |
| \$1038 | GWOM | CWOM | CLK4X | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | OPT2 |
| \$1039 | ADPU | CSEL | IRQE | DLY | CME | FCME | CR1 | CR0 | OPTION |
| \$103A | Br 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | Br 0 | COPRST |
| \$103B | ODD | EVEN | 0 | BYTE | ROW | ERASE | EELAT | EEPGM | PPROG |
| \$103C | RBOOT | SMOD | MDA | IRV | PSEL3 | PSEL2 | PSEL1 | PSEL0 | HPRIO |
| \$103D | RAM3 | RAM2 | RAM1 | RAM0 | REG3 | REG2 | REG1 | REG0 | INIT |
| \$103E | TILOP | 0 | OCCR | CBYP | DISR | FCM | FCOP | 0 | TEST1 |
| \$103F | EE3 | EE2 | EE1 | EE0 | 1 | NOCOP | 1 | EEON | CONFIG |
| \$1040 | Reserved | | | | | | | | Reserved |
| to | | | | | | | | | |
| \$105B | Reserved | | | | | | | | Reserved |
| \$105C | IO1SA | IO1SB | IO2SA | IO2SB | GSTHA | GSTHB | PSTHA | PSTHB | CSSTRH |
| \$105D | IO1EN | IO1PL | IO2EN | IO2PL | GCSPR | PCSEN | PSIZA | PSIZB | CSCTL |
| \$105E | GA15 | GA14 | GA13 | GA12 | GA11 | GA10 | 0 | 0 | CSGADR |
| \$105F | IO1AV | IO2AV | 0 | GNPOL | GAVLD | GSIZA | GSIZB | GSIZC | CSGSIZ |

Tabla A.1. Asignaciones de Registros y Bits de Control

Herramientas de programación

Para poder programar el microcontrolador necesitamos básicamente dos herramientas: un ensamblador y un programa que nos permita comunicarnos con el HC11 desde una computadora personal. Los programas utilizados para estos propósitos son: el IASM11 de P&E Microcomputer Systems y el PCBUG11 de Motorola, respectivamente.

IASM11

Este programa genera código máquina para la familia MC68HC11, es un programa bajo plataforma DOS e incluye un editor de textos para la captura de los programas escritos en ensamblador (en formato de texto ASCII).

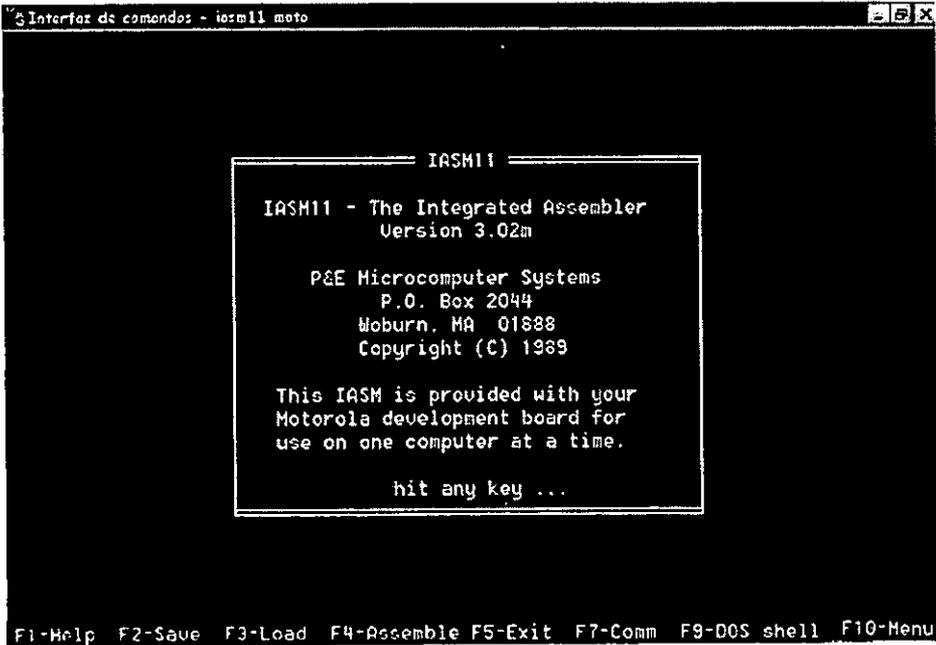


Fig. A.4. El entorno de trabajo de IASM11

Cuando se ensambla algún programa, se genera un archivo con formato S19, en el cual ya vienen todos los códigos de operación de las instrucciones en ensamblador procesadas. Este archivo de salida es utilizado por el programa PCBUG11 para almacenarlo en la memoria del microcontrolador.

PCBUG11

El objetivo de esta herramienta es la de establecer un entorno amigable de comunicación entre el microcontrolador y el usuario utilizando una computadora personal. Entre las posibilidades de dicho programa están las de leer y escribir datos desde y hacia la memoria del HC11, observar el estado de los registros internos del CPU, cargar programas en memoria utilizando el formato de archivo S19, ejecutar programas que estén en memoria del microcontrolador, inclusive paso a paso, etc.

```

Interfaz de comandos - pcbug11 -c

PCbug11 Ver 3.24a - M68HC11 Monitor para Host en PC. Motorola 1991. Re
Modo Bootstrap con RAM ....

PC      ACCA  ACCB  X      Y      CCR (SXHINZUC) SP      MCU : 68HC11 0
$XXXX  $XX   $XX   $XXXX  $XXXX  $XX ZXXXXXXXXX $XXXX  State: STOPPED
RTS Level :ON
User RST $XXXX
User SWI $0000
User XIRO $XXXX
    
```

Fig. A.5. El entorno de trabajo de PCBUG11

Desarrollo de programas

Cuando uno se encuentra en la etapa de desarrollo de programas para el HC11, los programas en prueba se graban en la memoria RAM interna del microcontrolador, en caso de que estos programas excedan la capacidad de dicha RAM, se procede a incorporarle una memoria RAM externa a la tableta base del microcontrolador y se ejecuta el mismo en modo expandido; los programas se cargan en dicha memoria.

Una vez que han sido probados los programas y se tiene la versión final, se almacenan en la memoria EEPROM del HC11, de esta forma, logramos que el robot sea totalmente autónomo, solamente el conectarlo a su fuente de poder es suficiente para que empiece a trabajar.

Hay ocasiones en que los programas finales, a pesar de todos los esfuerzos por hacer el código lo más compacto posible, son lo suficientemente grandes que no caben en la EEPROM; para estos casos, es necesario que se cargue el programa en la RAM cada vez que se desee utilizar la aplicación con el robot.