



UNIVERSIDAD DE BELGRANO

Las tesinas de Belgrano

**Facultad de Ingeniería
Ingeniería en Informática**

Robot autónomo móvil

Nº 325

Daniel H. Rubino

Tutor: Juan R. Lestani

Departamento de Investigaciones
Septiembre 2010

Índice general

1. Introducción	7
1.1. Planteamiento	7
1.2. Objetivo	7
1.3. Motivación	7
1.4. Antecedentes.....	7
1.5. Justificación	8
1.6. Alcance	8
2. Estado del Arte	9
2.1. Antecedentes históricos y actuales	9
2.1.1. Un poco de historia	9
2.1.2. Origen de la palabra robot	9
2.1.3. Definición de la palabra robot	10
2.1.4. Que es un robot?	10
2.1.5. Robots autónomos	11
2.1.6. Actualidad	11
2.1.6.1. Mayor productividad, precisión y resistencia	11
2.1.6.2. Tareas peligrosas, sucias o repetitivas	12
2.1.7. Problemas potenciales	13
2.2. Desarrollos similares	13
2.2.1. PPRK.....	13
2.2.2. NOD.....	13
3. Análisis del Sistema	13
3.1. Arquitectura distribuida	14
3.1.1. Ventajas de una arquitectura distribuida	14
3.1.2. Desventajas de una arquitectura distribuida	14
3.2. Arquitectura centralizada.....	15
3.2.1. Ventajas de una arquitectura centralizada	15
3.1.2. Desventajas de una arquitectura centralizada	15
4. Diseño del Sistema	16
4.1. Estructura del sistema	16
4.1.1. Software	16
4.1.2. Hardware	16
4.1.3. Mecánica	16
4.2. Bloque de software.....	16
4.2.1. Módulo maestro.....	16
4.2.2. Protocolo	16
4.2.3. Módulos esclavos	16
4.3. Bloque de hardware	16
4.3.1. Módulo cerebro.....	16
4.3.2. Módulo motor.....	16
4.3.3. Módulo vocal	16
4.3.4. Módulo auditivo	16
4.3.5. Módulo sensor infrarrojo.....	16
4.3.6. Módulo sensor ultrasonido	17
4.3.7. Módulo transmisor	17
4.3.8. Módulo de alimentación.....	17
4.4. Bloque de mecánica	17
4.4.1. Base	17
4.4.2. Motores.....	17
4.4.3. Transmisión	17
4.4.4. Ruedas	17

5. Estructura de Software	17
6. Estructura de Hardware	17
7. Estructura Mecánica	18
7.1. Motores	18
7.1.1. Servos	18
7.1.2. Motores paso a paso	18
7.1.3. Motoreductores	18
7.2. Movimiento	19
7.2.1. Movimiento holonómico	19
7.3. Ruedas	19
7.3.1. Diámetro 4cm	19
7.3.2. Diámetro 6cm	20
7.3.3. Diámetro 8cm	20
7.4. Ejes	20
7.4.1. Acero plata	20
7.4.2. Acero 304	20
7.4.3. Acero 316	20
7.5. Rodamientos	20
7.5.1. Bujes	20
7.5.2. Rulemanes	21
7.6. Transmisión	21
7.6.1. Poleas y correas	21
7.6.2. Engranajes cilíndricos	21
7.6.3. Engranajes cónicos	22
7.7. Base	22
7.7.1. Material	22
7.7.1.1. Policarbonato	22
7.7.1.2. Aluminio	22
7.7.1.3. Acero inoxidable	22
7.7.2. Forma	22
7.7.2.1. Redonda	22
7.7.2.2. Hexagonal	22
7.8. Tornillos	23
7.8.1. Acero pavonado	23
7.8.2. Acero inoxidable	23
7.8.3. Titanio	23
8. Desarrollo del Prototipo	24
8.1. Módulos de hardware	24
8.2.1. Módulo cerebro	24
8.2.2. Módulo motor	24
8.2.3. Módulo vocal	24
8.2.4. Módulo auditivo	25
8.2.5. Módulo sensor infrarrojo	25
8.2.6. Módulo sensor ultrasonido	26
8.2.7. Módulo transmisor	26
8.2.8. Módulo de alimentación	26
8.2. Estructura mecánica	27
8.3. Robot Autónomo Móvil	26
9. Conclusiones	28
9.1. Conocimiento	28
9.2. Disponibilidad	28
9.3. Tiempo	28
9.4. Costos	28
9.5. Balance	28

10. Líneas Futuras de Investigación.....	29
11. Referencias Bibliográficas	30
11.1. Libros y manuales.....	30
11.2. Sitios de Internet.....	30
12. Anexo Técnico	31
12.1. Robot R.A.M.	31
12.2. Robot Mini-RAM	32
12.3. Microcontroladores	32
12.3.1. Microchip PIC - Gama enana	32
12.3.2. Microchip PIC - Gama baja o básica	33
12.3.3. Microchip PIC - Gama media.....	33
12.3.4. Microchip PIC - Gama alta.....	34
12.4. Compiladores.....	34
12.4.1. Melabs PicBasic	34
12.4.2. Melabs PicBasic Pro.....	34
12.4.3. Crownhill Proton Plus	35
12.5. Sensores infrarrojos.....	35
12.5.1. Sharp GP2D02	35
12.5.2. Sharp GP2D05	35
12.5.3. Sharp GP2D12	35
12.5.4. Sharp GP2D15	36
12.5.5. Sharp GP2D120	36
12.5.6. Sharp GP2Y0A02YK	36
12.5.7. Sharp GP2Y0A21YK	36
12.5.8. Sharp GP2Y0D02YK	37
12.5.9. Sharp GP2Y0A700K0F.....	37
12.5.10 Sharp GP2Y0A710YK	37
12.6. Sensores ultrasónicos	38
12.6.1. Devantech SRF02	38
12.6.2. Devantech SRF04	38
12.6.3. Devantech SRF05	39
12.6.4. Devantech SRF08	39
12.6.5. Devantech SRF10	39
12.6.6. Devantech SRF235	40
12.6.7. Parallax Ping.....	40
12.7. Sintetizadores de voz	40
12.7.1. Devantech SP03.....	40
12.7.2. SpeakJet.....	41
12.7.3. SP0256-AL2	41
12.8. Reconocedores de voz	41
12.8.1. Voice Direct 364.....	41
12.9. Protocolos de comunicación.....	42
12.9.1 I2C	42
12.10. Sensores de visión.....	42
12.10.1. CMUCAM1	42
12.10.2. CMUCAM2 - OV6620	43
12.10.3. CMUCAM2 - OV7620	43

INDICE DE FIGURAS Y CUADROS

Figuras

Figura 1 - R.A.M. 1.....	8
Figura 2 - R.A.M. 1.....	8
Figura 3 - R.A.M. 1.....	8
Figura 4 - R.A.M. 1.....	8
Figura 5 - Sirviente mecánico.....	9

Figura 6 - Isaac Asimov	9
Figura 7 - Obra teatral RUR	9
Figura 8 - Karel Capek	10
Figura 9 - Manipulador programable	10
Figura 10 - Robot Asimo	10
Figura 11 - Robot Unimate	11
Figura 12 - Robots Industriales (autos)	11
Figura 13 - Robots Industriales (embalaje)	12
Figura 14 - Robots Industriales (electrónica)	12
Figura 15 - Vehículos guiados automáticamente	12
Figura 16 - Robots militares	12
Figura 17 - Robots domésticos	12
Figura 18 - Telerobots	13
Figura 19 - Robot Terminator	13
Figura 20 - Robot PPRK	13
Figura 21 - Palm Pilot	13
Figura 22 - Robot NOD	13
Figura 23 - Controladora BrainStem	13
Figura 24 - Arquitectura distribuida	14
Figura 25 - Arquitectura centralizada	15
Figura 26 - Estructura del sistema	16
Figura 27 - Bloque de software	16
Figura 28 - Bloque de hardware	16
Figura 29 - Bloque de mecánica	17
Figura 30 - Servos	18
Figura 31 - Señal de control de los servos	18
Figura 32 - Motores paso a paso	18
Figura 33 - Diagrama interno de los MPP	18
Figura 34 - Motoreductores	18
Figura 35 - Movimiento holonómico	19
Figura 36 - Rueda omni-direccional 4cm	19
Figura 37 - Rueda omni-direccional 6cm	20
Figura 38 - Rueda omni-direccional 8cm	20
Figura 39 - Bujes	20
Figura 40 - Rulemanes	21
Figura 41 - Porta-rulemanes	21
Figura 42 - Poleas y correas	21
Figura 43 - Engranajes cilíndricos 1:3	21
Figura 44 - Engranajes cilíndricos 1:1	22
Figura 45 - Engranajes cónicos 1:1	22
Figura 46 - Engranajes cónicos 1:13	22
Figura 47 - Base redonda	22
Figura 48 - Base hexagonal	23
Figura 49 - Tornillos acero pavonado	23
Figura 50 - Tornillos acero inoxidable	23
Figura 51 - Tornillos titanio	23
Figura 52 - Módulo cerebro	24
Figura 53 - Módulo motor	24
Figura 54 - Módulo vocal	25
Figura 55 - Módulo auditivo	25
Figura 56 - Módulo sensor infrarrojo	26
Figura 57 - Módulo sensor ultrasonido	26
Figura 58 - Módulo transmisor	26
Figura 59 - Módulo de alimentación	27
Figura 60 - Estructura mecánica	27
Figura 61 - Estructura mecánica	27
Figura 62 - Robot autónomo móvil	27
Figura 63 - Robot autónomo móvil	27

TablasTabla 1 -22

1. Introducción

Los recientes avances de la tecnología hacen posible que la interacción entre los robots, el medio ambiente y los seres humanos sea cada vez más natural.

La incorporación de la capacidad de detectar y reconocer objetos, de hablar y escuchar, de tomar decisiones, hacen que su integración a la sociedad se plantee como un objetivo alcanzable, y es una de las razones que promueven a varias ramas de la ciencia a desarrollar robots cada vez más inteligentes que conviertan al mundo en un lugar más accesible para los seres humanos.

Esta tesina trata sobre la construcción de un robot autónomo móvil con capacidad de tomar decisiones, moverse holonómicamente, reconocer comandos de voz, sintetizar voz, reconocer imágenes, detectar objetos y transmitir información de forma inalámbrica.

1.1. Planteamiento

A la hora de realizar un proyecto se tiene que hacer frente a una serie de aspectos, que si se intentaran resolver todos ellos simultáneamente, resultarían en un problema muy complejo y difícil de abordar.

La metodología empleada en esta tesina se basa en dividir una tarea principal en una serie de sub-tareas que faciliten el desarrollo de las mismas. Esta división de tareas lleva a distribuir el control primario del robot en diferentes módulos semi-autónomos que desempeñan tareas más simples.

1.2. Objetivo

Esta tesina tiene como objetivo el estudio de las diferentes marcas y modelos de microcontroladores, de sus respectivos compiladores y de las tecnologías de comunicaciones modulares entre ellos; el estudio de los diferentes tipos de sensores de distancia y sensores reconocedores de voz y de objetos, como también el estudio de la mecánica empleada en el movimiento robótico.

1.3. Motivación

Esta tesina se basa en el interés despertado por la cátedra de Robótica que se dictó en el quinto año de la carrera. En ella se estudiaron y analizaron los fundamentos principales de la Robótica, como ser tipos de motores, sensores, sistemas de control y de comunicaciones, dando pie al desarrollo de este proyecto.

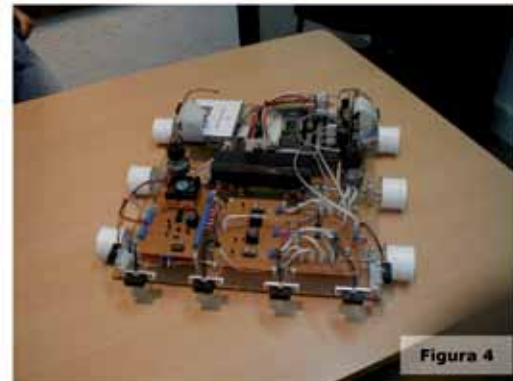
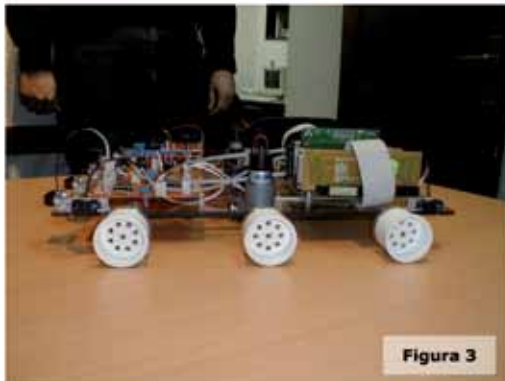
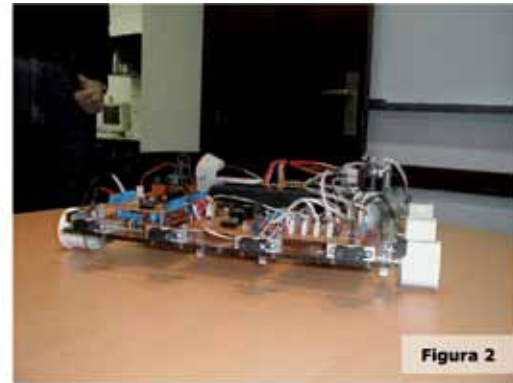
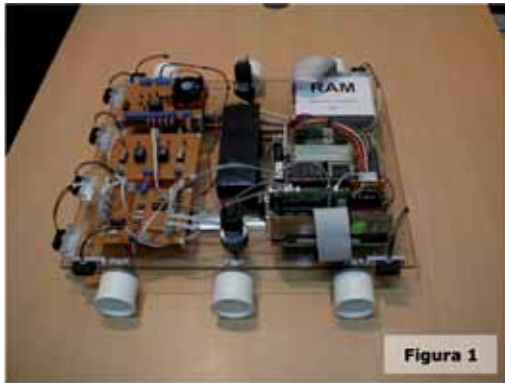
1.4. Antecedentes

Como antecedentes de esta tesina mencionamos al robot desarrollado en la cátedra de Habilitación Profesional II durante el quinto año de la carrera.

Este robot denominado R.A.M., imita el movimiento de una tortuga, es decir, se mueve siempre hacia adelante y hacia los costados girando sobre su eje vertical, evitando los objetos que se le interponen en su camino. Si bien el robot tiene la habilidad de moverse hacia atrás, no es parte de su programación.

El desarrollo del hardware se realizó con un motherboard con procesador integrado Intel 386DX-33Mhz con coprocesador RapidCAD, 4Mb de memoria RAM y disquetera de 3½, incorporando además placas específicas de desarrollo propio.

El desarrollo del software se realizó en C y C++ bajo la plataforma MS-DOS 6.22 y en Basic de PicBasic Pro para los microcontroladores de Microchip.



1.5. Justificación

Esta tesina fuera del ámbito académico puede servir como base para el desarrollo de dispositivos que ayuden a personas discapacitadas a interactuar con su medio ambiente (por ejemplo, sillas de ruedas holonómicas manejadas verbalmente), o en el desarrollo de robots guía (por ejemplo, en museos o exposiciones), y como también en el acceso a lugares remotos o peligrosos (por ejemplo, lugares radiactivos o campos minados)

1.6. Alcance

- El desarrollo de la tesina poseerá las siguientes características:
- El robot se desplazará sobre un terreno horizontal utilizando como medio de tracción motores eléctricos y ruedas.
- El robot evitará obstáculos que se le interpongan con el uso de sensores.
- El robot podrá tomar decisiones respecto a cómo evitar los obstáculos sin necesidad de intervención externa (autónomo).
- El robot emitirá frases de diagnóstico en un lenguaje natural.
- El robot reconocerá comandos verbales.

Y estará acotado a los siguientes características:

- El robot se limitará a esquivar objetos para mantenerse funcional, sin tener en cuenta algoritmos para determinar caminos óptimos.
- El reconocimiento de comandos verbales está acotado a un grupo de comandos unipersonales.

2. Estado del Arte

2.1. Antecedentes históricos y actuales

2.1.1. Un poco de historia

Personajes robóticos, andróides (seres humanos artificiales) y cyborgs (seres humanos con importantes mejoras mecánicas) se han convertido en un elemento básico de la ciencia ficción actual.

La primera referencia que se hace en la literatura occidental a los sirvientes mecánicos aparece en la *Ilíada* de Homero. En el libro XVIII, Hephaestus, dios del fuego, crea una armadura asistido por robots para Aquiles, el nuevo héroe. Según la traducción de Emile Víctor Rieu, “sirvientas de oro se apresuraron a ayudar a su maestro. Parecían mujeres reales y no sólo podían hablar y utilizar sus extremidades, sino que también estaban dotadas de inteligencia y entrenadas por los dioses en el arte del trabajo manual”. Por supuesto, las palabras “robot” o “andróide” no se las utilizaban para describirlos en esos momentos, pero, sin embargo eran dispositivos mecánicos con apariencia humana.

El autor más prolífico de cuentos de ciencia ficción sobre robots fue Isaac Asimov (2 de enero de 1920 - 6 de abril de 1992), quien puso a los robots y a su interacción con la sociedad en el centro de muchas de sus obras. Asimov examinó con mucho cuidado el problema del conjunto de instrucciones ideales que los robots debían tener para disminuir el riesgo para los seres humanos, y llegó a sus tres leyes de la robótica:

- Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la primera ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la primera o la segunda ley.

Estas tres leyes, aunque se anunciaron en algunas historias anteriores, fueron introducidas en 1942 en su cuento “Runaround”, que aparece en las colecciones “I, Robot” (1950), “The Complete Robot” (1982) y “Robot Visions” (1990). Más tarde, Asimov añadió la ley cero (la cuarta ley): “Un robot no puede dañar la humanidad, o, por su inacción, permitir que la humanidad sufra daño”.

En el primer párrafo del cuento “Liar!” (1941), que además menciona la primera ley, se registra el primer uso de la palabra robótica. Asimov no fue inicialmente consciente de ello, ya que asumió que la palabra ya existía.

2.1.2. Origen de la palabra robot

La palabra “robot” fue introducida al público por el escritor Checo Karel Capek, en su obra R.U.R. (Robots Universales de Rossum) que se estrenó en 1921. La obra comienza en una fábrica que hace personas artificiales llamadas robots, pero estos son más cercanos a la idea actual de andróides o clones, criaturas que no pueden ser confundidas por seres humanos. Estos robots pueden pensar claramente por sí mismos a pesar de que parecen felices sirviendo a los seres humanos.



Figura 5



Figura 6



Figura 7

Esto finalmente cambia y lleva al fin de la raza humana debido a una rebelión robótica hostil. Pero Karel no fue el inventor de la palabra, sino su hermano, el pintor y escritor Josef Capek. En 1933 Capek escribió un artículo en un diario Checo (llamado Noticias del Pueblo) explicando que originalmente quería llamar a las criaturas "labori" (del latín labor, trabajo). Pero no le gustó la palabra debido que le parecía muy artificial y tomó el consejo de su hermano Josef el cual le sugirió que utilizara "roboti", derivado de la palabra "robota", que en Checo significa literalmente trabajo o mano de obra y figurativamente trabajo duro.

2.1.3. Definición de la palabra robot

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) define a los robots en la norma ISO 8373 como "un manipulador programable, automáticamente controlado, reprogramable y multipropósito, en tres o más ejes, que puede estar o no fijo en un lugar, y es utilizado en aplicaciones industriales automatizadas". Esta definición es utilizada por la Federación Internacional de Robótica, la Red de Investigación Robótica Europea (EURON) y varios organismos internacionales.

El Instituto Americano de Robótica (RIA) utiliza una definición más amplia de robot: un robot es un manipulador reprogramable, multi-funcional designado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados mediante movimientos variables programados para el desempeño de una variedad de tareas.

El Instituto Americano de Robótica subdivide a los robots en cuatro clases:

- Dispositivos que manipulan objetos mediante control manual.
- Dispositivos automatizados que manipulan objetos con los ciclos repetitivos.
- Robots programables y servo-controlados con trayectorias continuas punto a punto.
- Robots programables y servo-controlados con trayectorias continuas punto a punto, pero que también adquieren información del medio ambiente y en respuesta se mueven inteligentemente.

No hay una definición específica de robot que satisfaga a todas las personas al mismo tiempo, y muchas han creado su propia definición. Por ejemplo, Joseph Engelberger, un pionero de la robótica industrial, una vez comentó: "No puedo definir un robot, pero sé cuando veo uno". Según la Enciclopedia Británica, un robot es "cualquier máquina operada automáticamente que reemplaza el esfuerzo humano, siendo posible que no se parezcan a los seres humanos en la apariencia o en la forma que desempeñan sus funciones". Según el diccionario Merriam-Webster, un robot se describe como una "máquina que se parece a un ser humano y realiza diversas actividades complejas (como caminar o hablar) de un ser humano", o un "dispositivo que automáticamente realiza complicadas tareas repetitivas", o un "mecanismo automático guiado por los controles".

2.1.4. Que es un robot?

Un robot es un agente artificial, por lo general un sistema electro-mecánico, que por su apariencia o sus movimientos transmite la idea de ser un organismo con vida propia. La palabra robot se puede referir a dos tipos de robots: físicos y virtuales (agentes de software), pero a estos último se los suele denominar bots.

No hay un consenso de qué máquinas se las puede calificar como robots, pero hay un acuerdo general entre los expertos y el público de que los robots tienen algunas o todas las siguientes propiedades:

- Es creado artificialmente.
- Puede sensor, manipular o interactuar con elementos de su medio ambiente.
- Tiene alguna habilidad para tomar decisiones basadas en el medio ambiente, generalmente utilizando un control automático o una secuencia pre-programada.



Figura 8



Figura 9



Figura 10

- Es programable.
- Se mueve en uno o mas ejes de rotación o traslación.
- Realiza movimientos coordinados.
- Se mueve sin interacción humana directa.

Cuentos de ayudantes y compañeros artificiales, y los intentos de crearlos, tienen una larga historia, pero las máquinas completamente autónomas sólo aparecieron en el siglo 20. El primer robot programado y operado digitalmente, el Unimate, se instaló en 1961 para levantar piezas calientes de metal de una máquina de moldeo para luego apilarlas. Hoy en día, los robots comerciales e industriales son ampliamente utilizados, desempeñando tareas de forma más barata o con mayor precisión y fiabilidad que los seres humanos. También son utilizados para puestos de trabajo que son demasiado sucios, peligrosos o aburridos para los seres humanos. Los robots son ampliamente utilizados en la fabricación, el montaje y el embalaje, en el transporte, en la exploración del espacio, en cirugías, armamentos, laboratorios, y en la producción en masa de bienes de consumo e industriales.



Figura 11

2.1.5. Robots autónomos

Los robots autónomos son robots que pueden realizar tareas en un medio ambiente no estructurado sin la continua intervención de los seres humanos. Estos pueden tener diferentes grados de autonomía y ser autónomos en diferentes maneras.

Un robot completamente autónomo tiene la capacidad de:

- Obtener información sobre el medio ambiente.
- Trabajar un largo período sin intervención humana.
- Mover, ya sea la totalidad o una parte de sí mismo a lo largo de su entorno operativo sin ayuda humana.
- Evitar situaciones que sean perjudiciales para sí mismo, para las personas o los bienes, salvo que sea parte de sus especificaciones de diseño.

Un robot autónomo también puede aprender o adquirir nuevas capacidades como la adaptación de las estrategias para el cumplimiento de sus tareas o la adaptación a los cambios de entorno. Igualmente, los robots autónomos requieren un mantenimiento regular, como las demás máquinas.

2.1.6. Actualidad

En la primera mitad del 2008 había más de un millón de robots en operación alrededor del mundo, con un 50% en Asia, un 32% en Europa, un 16% en Estados Unidos, un 1% en Australia, y un 1% en África.

Los robots industriales y los robots de servicios se los puede clasificar en dos categorías basadas en el trabajo que realizan. La primera categoría incluye aquellas tareas en las cuales el robot las puede realizar con mayor productividad, precisión y resistencia que un ser humano. La segunda categoría incluye aquellas tareas peligrosas, sucias o repetitivas las cuales son indeseables por los seres humanos.

2.1.6.1. Mayor productividad, precisión y resistencia

Los robots realizan diferentes trabajos en las fábricas. Esto lleva a una producción masiva y más económica de bienes, incluyendo autos y dispositivos electrónicos. Los manipuladores estacionarios utilizados en las fábricas se convirtieron en los robots más vendidos del mercado en los últimos años. A continuación se mencionan algunos ejemplos de estos robots:

- *Producción de autos:* durante las últimas tres décadas las fábricas de autos pasaron a estar dominadas por robots. Una fábrica típica tiene cientos de robots industriales trabajando en líneas de producción totalmente automatizadas, con un robot por cada diez trabajadores humanos. En una línea de producción automatizada, el chasis de los autos se suelda, se pinta y se termina de ensamblar en cada estación robotizada.
- *Embalaje:* los robots industriales se utilizan ampliamente para el envasado de productos manufacturados y en la envoltura de los palets. Por ejemplo, se utilizan para tomar rápidamente las cajas de bebidas al final de una cinta transportadora y colocarlos en cajas para luego cargarlos y descargarlos en camiones.



Figura 12

- *Electrónica*: las placas de circuito impreso se fabrican masivamente por robots llamados “pick and place”, cuyo trabajo es remover pequeños componentes ubicados en tiras y colocarlos en las placas de circuito impreso con gran precisión. Estos robots pueden colocar ciento de miles de componentes por hora, superando ampliamente la velocidad, precisión y fiabilidad de un ser humano.
- *Vehículos guiados automáticamente (VGA)*: son robots autónomos móviles que siguen marcas o líneas en el piso, que utilizan visión, sensores de ultrasonido o láser, y se utilizan para transportar mercaderías alrededor de grandes instalaciones, tales como almacenes, puertos de contenedores u hospitales.



Figura 13



Figura 14



Figura 15

2.1.6.2. Tareas peligrosas, sucias o repetitivas

Hay muchos trabajos que las personas prefieren dejar a los robots. El trabajo puede ser aburrido, como la limpieza doméstica, o peligroso, como explorar el interior de un volcán, o físicamente inaccesibles como la exploración de otro planeta, limpiar el interior de un tubo largo, o realizar una cirugía por vía laparoscópica. A continuación se mencionan algunos ejemplos de estos robots:

- *Robots militares*: aviones robots tele-operados, como el Predator (avión no tripulado) son cada vez más utilizados por los militares para observar a los objetivos desde el aire. Otros robots militares son utilizados por los Estados Unidos en Irak y en Afganistán para desactivar bombas o dispositivos explosivos improvisados enterrados en el piso.
- *Robots domésticos*: a medida que los precios caen y los robots adquieren más inteligencia y mayor autonomía, son utilizados en las casas para realizar tareas domésticas no deseadas como limpiar los pisos, aspirar las alfombras y cortar el pasto.
- *Telerobots*: cuando un ser humano no puede estar presente en un lugar para llevar a cabo un trabajo porque es peligroso, muy lejos, o inaccesibles, se utilizan robots teleoperados o telerobots. En lugar de seguir una secuencia determinada de movimientos, un humano es quien controla a distancia el telerobot. El robot puede estar en otra habitación o en otro país, o puede estar en una escala muy diferente a la del operador. Por ejemplo, en una cirugía laparoscópica un robot permite al cirujano trabajar dentro de un paciente humano en una escala relativamente más pequeña en comparación con la cirugía abierta, acortando significativamente el tiempo de recuperación.



Figura 16



Figura 17



Figura 18

2.1.7. Problemas potenciales

Temores y preocupaciones acerca de los robots se han expresado en repetidas ocasiones en una amplia gama de libros y películas. Un tema común es el desarrollo de una raza maestra de robots conscientes e inteligentes, motivados para tomar o destruir la raza humana (Cortocircuito, Terminator, Robocop, los Replicadores en Stargate, los Cylons en Battlestar Galactica, Matrix, Yo Robot y Transformers). Algunos de estos robots están programados para matar y destruir; otros para adquirir inteligencia y habilidades sobrehumanas mediante la mejora de su propio software y hardware.



Figura 19

2.2. Desarrollos similares

Como ejemplos de desarrollos similares presentamos los siguientes robots:

2.2.1. PPRK

PPRK (Palm Pilot Robot Kit) es un robot autónomo móvil desarrollado por el Instituto de Robótica de la Universidad de Carnegie Mellon que posee movimiento holonómico y es controlado por una Palm Pilot a través del puerto serie de la misma. La Palm Pilot tiene el suficiente poder de procesamiento en un tamaño reducido, funciona con pilas, puede mostrar gráficos e interactuar con el usuario mediante la pantalla táctil. El robot se mueve mediante la utilización de tres ruedas omnidireccionales que le permiten moverse en cualquier dirección con control independiente de la rotación.



Figura 21

También posee tres sensores infrarrojos de distancia que le permiten sentir (y evitar) obstáculos y paredes en su medio ambiente hasta un metro de distancia.



Figura 20

2.2.2. NOD



Figura 23

NOD es un robot autónomo móvil desarrollado por Aconame Robotics basado en la plataforma PPRK y controlado por la controladora multifunción BrainSystem. Este fue programado para seguir a una pelota amarilla o a cualquier objeto de color naranja brillante mediante la utilización de una cámara color CMUcam, desarrollada también por el Instituto de Robótica de la Universidad de Carnegie Mellon. Además posee un módulo sintetizador de voz SP03 de Devantech y un puerto serie para uso general.



Figura 22

3. Análisis del Sistema

Una arquitectura electrónica tiene que ser capaz de realizar algunas tareas básicas que se pueden clasificar en:

- Comunicaciones con el exterior
- Inteligencia del robot
- Gestión de energía
- Control de sensores
- Control de actuadores

Estas tareas pueden ser parte de dos tipos de arquitecturas fundamentales: la arquitectura centralizada y la arquitectura distribuida.

En la arquitectura centralizada toda la electrónica del robot se encuentra en un mismo módulo. Dentro de este módulo suele haber un microcontrolador que se utiliza como centro de control y coordinación de todo el módulo. En él se realiza todo el control de los sensores y los actuadores, y se gestionan las comunicaciones con el exterior.

En la arquitectura distribuida existe un módulo por cada tarea que se quiere controlar, es decir, habrá un módulo para controlar un determinado tipo de sensores o un conjunto de sensores, habrá otro mó-

dulo para controlar cada tipo de actuadores y habrá también otros módulos que servirán para gestionar diferentes tipos de comunicación con el exterior. En esta arquitectura suele haber un módulo donde se encuentra la inteligencia del robot y sirve de centro de coordinación de todos los módulos. Los diferentes módulos se comunican entre sí siguiendo un protocolo de comunicaciones, que puede ser estándar o propietario del robot.

A continuación se describe con más detalle ambas arquitecturas:

3.1. Arquitectura distribuida

La arquitectura consta de un conjunto de módulos, donde cada uno de ellos se especializa en una tarea. Todos los módulos se encuentran alimentados por una red de cables de alimentación que se distribuye por todo el robot. Además de la red de cables de alimentación, también hay instalado una red de buses que permiten a los módulos comunicarse entre sí.

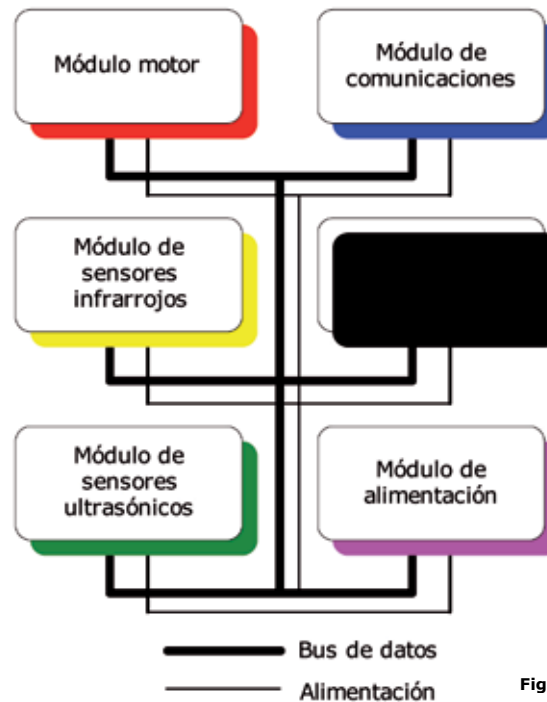


Figura 24

Generalmente cada módulo tiene un microcontrolador que se encarga, por un lado de las comunicaciones con otros módulos y por otro lado de realizar la tarea para el cual fue desarrollado.

El microcontrolador suele ser muy sencillo y de poca capacidad de cálculo, ya que tiene que realizar una única tarea muy puntual.

3.1.1. Ventajas de una arquitectura distribuida

A continuación se describen las ventajas de una arquitectura distribuida:

- *Mantenimiento del sistema:* es más fácil de encontrar fallas en el funcionamiento del sistema gracias a su modularidad. Además en el caso de fallo de un módulo solamente hay que sustituir el mismo.
- *Escalabilidad:* es la mayor ventaja del sistema. Se puede añadir una nueva funcionalidad al sistema sin esfuerzo. Por ejemplo, si al sistema se le quiere añadir un módulo de comunicaciones del tipo USB, lo único que hay que hacer es conectar dicho módulo de comunicaciones al robot.
- *Costo del desarrollo:* el costo de desarrollo es menor ya que el desarrollo del sistema se reduce al desarrollo de cada una de los módulos, eliminando los costos de integración que suelen ser elevados.

3.1.2. Desventajas de una arquitectura distribuida

Por otro lado, las desventajas de una arquitectura distribuida son:

- *Espacio:* los sistemas con esta arquitectura son grandes en comparación con los sistemas centralizados, ya que el sistema está compuesto por varios módulos.
- *Fallo de conexiones:* al haber varios módulos interconectados entre sí, el sistema suele tener muchos cables a lo largo del mismo, lo que hace que aumente la posibilidad de fallo por un error en una conexión. Por lo tanto, el diseño de los conectores de los módulos es crítico.

- *Índice de fallos*: el número de componentes que tiene una arquitectura distribuida es mucho mayor que en una arquitectura centralizada. Cuantos más componentes tenga un sistema, mayor es su probabilidad de fallo.
- *Costo*: al tener más componentes el costo del sistema es mayor.

3.2. Arquitectura centralizada

La arquitectura centralizada se basa en un solo módulo que se encarga de realizar todas las tareas que necesita el sistema, desde el control de sensores, hasta la inteligencia del robot. El módulo suele tener un microcontrolador de gran capacidad de cálculo y control.



Figura 25

3.2.1. Ventajas de una arquitectura centralizada

A continuación se describen las ventajas de una arquitectura centralizada:

- *Espacio*: los robots con esta arquitectura pueden ser más pequeños debido a que el robot sólo tiene un módulo.
- *Robustez*: debido a que el diseño es más compacto, la arquitectura es más robusta ante impactos y fallos.
- *Costo*: al tener pocos componentes el costo del sistema es menor que en el caso de una arquitectura distribuida.

3.1.2. Desventajas de una arquitectura centralizada

Por otro lado, las desventajas de una arquitectura centralizada son:

- *Mantenimiento del sistema*: es complicado encontrar una falla en la arquitectura, ya que las tareas se realizan todas en el mismo módulo e inevitablemente unas interaccionan con otras.
- *Escalabilidad*: es la mayor desventaja del sistema. Por muy bien que se haya diseñado una arquitectura centralizada, es muy complicado lograr una ampliación de las tareas de la misma, ya que eso en general supondrá una modificación del hardware/software del único módulo. Generalmente este tipo de arquitecturas suele contar con los llamados puertos de expansión que amplían las funcionalidades de la misma.
- *Costo del desarrollo*: el costo de desarrollo es mayor ya que aunque sólo es necesario diseñar un módulo, la labor de integración de todas las tareas en un sólo módulo hace que el costo de desarrollo se eleve en gran medida.

4. Diseño del Sistema

4.1. Estructura del sistema

La estructura del sistema se pensó como tres bloques principales fundamentales. Estos tres bloques están vinculados entre sí, dependiendo uno del otro y la falta de uno de ellos hace que el sistema no funcione.

Estos tres bloques principales son:

4.1.1. *Software*: es la parte lógica del robot que le permite evaluar su medio ambiente, tomar decisiones y controlar el hardware.

4.1.2. *Hardware*: es la parte electrónica del robot que le permite interactuar con su medio ambiente.

4.1.3. *Mecánica*: es la parte física del robot que le permite movilizarse en su medio ambiente y sostener el hardware.



Figura 26

4.2. Bloque de software

El bloque de software se compone de tres sub-bloques: el módulo maestro, el protocolo y los módulos esclavos.



Figura 27

4.2.1. *Módulo maestro*: se encarga de coordinar las tareas que realizan los módulos esclavos.

4.2.2. *Protocolo*: se encarga de comunicar el módulo maestro con todos los módulos esclavos y vice-versa. Cada módulo esclavo se identifica unívocamente.

4.2.3. *Módulos esclavos*: se encargan de realizar diferentes tareas de entrada y salida.

4.3. Bloque de hardware

El bloque de hardware se compone de varios sub-bloques que realizan diferentes tareas:

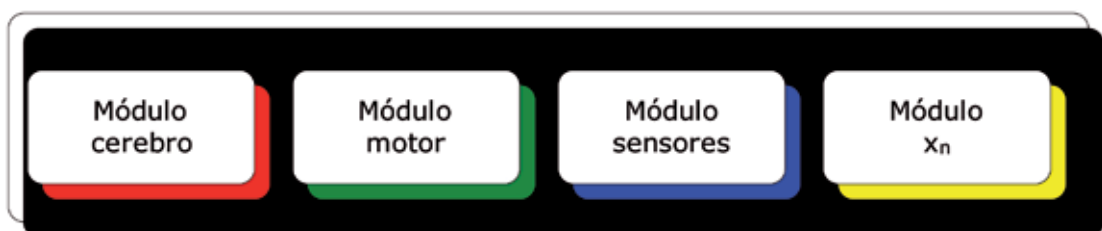


Figura 28

4.3.1. *Módulo cerebro*: corresponde directamente al módulo maestro en el bloque de software. Es el encargado de coordinar todas las tareas que realizan los siguientes sub-bloques, que corresponden directamente a los módulos esclavos en el bloque de software.

4.3.2. *Módulo motor*: se encarga de movilizar al robot en su medio ambiente utilizando el movimiento holonómico.

4.3.3. *Módulo vocal*: se encarga de reproducir mensajes de diagnóstico, como ser errores o advertencias.

4.3.4. *Módulo auditivo*: se encarga de escuchar los comandos verbales emitidos por el interlocutor.

4.3.5. *Módulo sensor infrarrojo*: se encarga de detectar objetos en su medio ambiente a corta distancia.

4.3.6. *Módulo sensor ultrasonido*: se encarga de detectar objetos en su medio ambiente a larga distancia.

4.3.7. *Módulo transmisor*: se encarga de transmitir de manera inalámbrica información del sistema (debugs) hacia una computadora que posee un módulo receptor.

4.3.8. *Módulo de alimentación*: se encarga de alimentar al bloque de hardware del robot.

4.4. Bloque de mecánica

El bloque de mecánica se compone de cuatro sub-bloques que realizan diferentes tareas: la base, los motores, la transmisión y las ruedas.



Figura 29

4.4.1. *Base*: se encarga de sostener al hardware y a los siguientes sub-bloques.

4.4.2. *Motores*: se encarga de mover las ruedas a través de la transmisión.

4.4.3. *Transmisión*: se encarga de transmitir el movimiento los motores a las ruedas.

4.4.4. *Ruedas*: se encarga de movilizar al robot en su medio ambiente.

5. Estructura de Software

La estructura de software global del robot es relativamente simple debido a la elección de la arquitectura distribuida como arquitectura del mismo.

Esto implica la utilización de un protocolo de comunicaciones que permita la comunicación entre los módulos correspondientes a esta arquitectura. Para ello se utilizó el protocolo de comunicaciones I²C de Phillips que posee las características necesarias para poder manejar un conjunto de módulos esclavos con uno o mas módulos maestros.

También se tuvo en cuenta el protocolo serie RS232 para realizar esta tarea, pero se descartó por no poseer el manejo nativo de la comunicación entre módulos.

La estructura de software local a cada módulo también es relativamente simple, debido a que cada módulo realiza una sola tarea sencilla y no se tiene que preocupar mas allá para lo cual fue diseñado.

6. Estructura de Hardware

La estructura de hardware del robot también es relativamente simple debido a la elección de la arquitectura distribuida como arquitectura del mismo.

Si bien cada módulo realiza una tarea diferente, el núcleo o cerebro de todos ellos es similar, ya que funcionan con un microcontrolador de gama media. Este microcontrolador no necesita tener más memoria para el código hexadecimal o más velocidad de ejecución ya que la tarea a desempeñar es sencilla.

Si algún módulo requiere un microcontrolador de gama alta, es porque tiene alguna característica adicional que necesita dicho módulo. Estas características adicionales pueden ser conversores analógicos/digitales, comparadores, PWM (Pulse Width Modulation) por hardware, o simplemente mayor cantidad de pines de entrada/salida.

El módulo maestro es el encargado de coordinar todas las tareas que realizan los demás módulos esclavos, como también se encarga de entablar la comunicación con ellos (que puede ser de lectura, para obtener una información; o de escritura para hacer ejecutar alguna tarea específica).

Los módulos esclavos se encargan de realizar diferentes tareas como ser el sensado del medio ambiente, el reconocimiento de voz, la transmisión inalámbrica de datos, el chequeo del nivel de las baterías, entre otras tareas.

7. Estructura Mecánica

7.1. Motores

La elección del tipo de motores se basó en tres características principales: la necesidad de tener el suficiente torque para mover el robot, en la simplicidad de su manejo eléctrico y en la integración con los demás componentes mecánicos.

Para ello se tuvieron en cuenta tres tipos de motores:

7.1.1. Servos: son motores de corriente continua que poseen una caja reductora interna y un circuito electrónico interno, en los cuales se puede controlar y saber con precisión la posición de su eje mediante una retroalimentación interna. El eje puede rotar 90° grados hacia ambos lados desde el centro y es necesario una modificación mecánica interna para que pueda rotar continuamente hacia ambos lados. Su manejo eléctrico es mediante un tren de pulsos específico que sólo puede controlarse fácilmente mediante un microcontrolador o un circuito dedicado a tal fin. Su eje, que en general está fabricado en plástico, posee un encastre estriado específico según cada fabricante. Sus engranajes internos y su carcasa externa, también son fabricados en plástico.



Figura 30

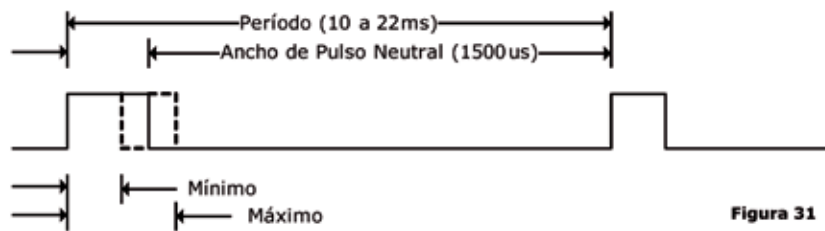


Figura 31

7.1.2. Motores paso a paso: son motores de corriente continua con múltiples bobinas (unipolares o bipolares) en los cuales se puede controlar con precisión la posición de su eje sin retroalimentación. En estos no se puede saber la posición de su eje sin una retroalimentación externa. Su manejo eléctrico es mediante la polarización sincronizada de sus bobinas que sólo puede controlarse fácilmente mediante una etapa de potencia y un microcontrolador o un circuito dedicado a tal fin. Su eje metálico, que puede rotar hacia ambos lados libremente, posee medidas estándar, por lo general de $\frac{1}{4}$ " de diámetro y su carcasa es de construcción metálica.



Figura 32

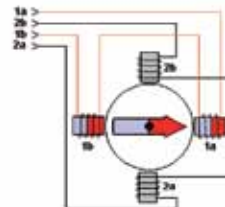


Figura 33

7.1.3. Motores reductores: son motores de corriente continua que poseen una caja reductora externa y en los cuales no se puede controlar ni saber la posición de su eje sin una retroalimentación externa. Su manejo eléctrico es mediante la polarización de su único bobinado, obteniendo un movimiento continuo de su eje en cualquiera de sus dos sentidos de giro. Su control es relativamente simple ya que sólo se necesita una etapa de potencia basada en transistores o relés. Su eje metálico posee medidas estándar, por lo general de 6mm de diámetro y su carcasa es de construcción metálica.



Figura 34

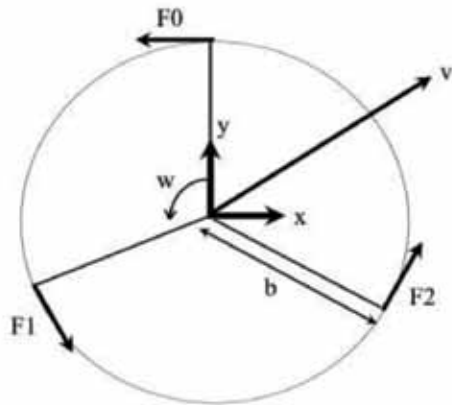
Los tres tipos de motores poseen el torque necesario para mover el robot. Los servos son relativamente fáciles de controlar pero son físicamente frágiles, necesitan una modificación mecánica interna para que puedan rotar en ambos sentidos sin restricciones y el estriado de su eje no es estándar. Los motores paso a paso son complicados para controlar tanto a nivel eléctrico como lógico. Por lo tanto se eligió a los motoreductores como la opción sencilla para mover el robot.

7.2. Movimiento

La elección del tipo de movimiento del robot se basó en una sola característica principal: debía poder moverse en cualquier dirección con total grado de libertad.

7.2.1 Movimiento Holonómico

Por el tipo de movimiento, la única opción fue elegir el movimiento denominado "holonómico". La física detrás de este movimiento es la siguiente:



- r – radio de las ruedas
- F₀, F₁, F₂ – vectores de dirección
- v – velocidad del robot
- ω – velocidad angular
- b – radio de la base
- v₀, v₁, v₂ – velocidad lineal de las ruedas
- ω₀, ω₁, ω₂ – velocidad angular de las ruedas
- n – número de rueda
- p_n – velocidad del robot con respecto a la rueda n
- F_n = [-1, 0]

Las siguientes fórmulas permiten encontrar la velocidad final del robot a partir de las velocidades individuales de las ruedas:

$$p_n = v + (b \cdot \omega) \cdot F_n$$

$$p_n \cdot F_n = \text{velocidad de la rueda, por lo tanto:}$$

$$v \cdot F_n + b \cdot \omega = \text{velocidad de la rueda}$$

$$r \cdot \omega_n = v \cdot F_n + b \cdot \omega$$

Por lo tanto:

$$\omega_0 = (v \cdot F_0 + b \cdot \omega) / r$$

$$\omega_1 = (v \cdot F_1 + b \cdot \omega) / r$$

$$\omega_2 = (v \cdot F_2 + b \cdot \omega) / r$$

7.3. Ruedas

La elección del tipo de ruedas se basó en tres características principales: debían permitir un movimiento holonómico, soportar el peso del robot y tener un tamaño acorde al mismo.

Por el tipo de movimiento, la única opción fue elegir ruedas omni-direccionales de poliuretano, disponibles en tres medidas:

7.3.1. Diámetro 4cm: soporta una carga máxima de 7Kg.



Figura 36

7.3.2. *Diámetro 6cm*: soporta una carga máxima de 23Kg.



Figura 37

7.3.3. *Diámetro 8cm*: soporta una carga máxima de 45Kg.



Figura 38

Si bien los tres tipos de ruedas soportan en el peso estimado del robot, se eligió la de 6cm de diámetro ya que tiene el tamaño acorde a las dimensiones globales del robot.

7.4. Ejes

La elección del tipo de material de los ejes se basó en tres características principales: debían ser duros (soportar el torque aplicado por los motores), resistentes a la corrosión y mecanizables.

Para ello se tuvieron en cuenta tres tipos de aceros:

7.4.1. *Acero plata*: es un acero indeformable, calibrado, rectificado y pulido, para ser usado en herramientas pequeñas y pinzas de construcción en las cuales la precisión de las medidas es muy importante.

7.4.2. *Acero 304*: es un acero inoxidable y refractario austenítico, aleado con cromo y níquel y bajo contenido de carbono que presenta una resistencia a la corrosión muy enérgica. Este tipo de acero es resistente contra corrosión intercrystalina y no es templable ni magnético.

7.4.3. *Acero 316*: es un acero inoxidable austenítico, con bajo contenido de carbono alta resistencia a la corrosión energética e intercrystalina resistente contra muchos agentes químicos agresivos como también a la atmósfera marina.

Si bien los tres tipos de acero son adecuados para los ejes por ser mecanizables y duros, y aunque el acero 316 no es el más duro de los tres, se lo eligió por ser el que tiene mejor resistencia a la corrosión. El diámetro del eje (varilla trafilada) elegido es de 6mm ya que coincide con el diámetro del eje del motor.

7.5. Rodamientos

La elección del tipo de rodamientos se basó en una característica principal: debían permitir la libre rotación de los ejes (sin fricción).

Para ello se tuvieron en cuenta dos tipos de rodamientos:

7.5.1. *Bujes*: son aros de bronce u oilite (bronce semi-poroso auto-lubricado) en cuyo interior gira el eje.



Figura 39

7.5.2. *Rulemanes*: son dos aros metálicos en donde el de menor diámetro (en cuyo interior gira el eje) gira adentro del de mayor diámetro mediante bolillas (metálicas o cerámicas) o rodillos.



Figura 40

Se eligió a los rulemanes ya que poseen menor desgaste y mayor eficiencia. El diámetro interior del rulemán elegido es de 6mm ya que coincide con el diámetro de los ejes, y el diámetro exterior es de 19mm ya que coincide con el diámetro interior de los porta-rulemanes de aluminio elegidos para sostener al rulemán.



Figura 41

7.6. Transmisión

La elección del tipo de transmisión se basó en una sola característica principal: debía transmitir el movimiento desde el eje del motor al eje de las ruedas de manera constante y segura a lo largo del tiempo.

Para ello se tuvieron en cuenta tres tipos de transmisiones:

7.6.1. *Poleas y correas*: consiste en dos poleas metálicas estriadas y una correa dentada que transmite el movimiento de una polea a la otra. El diámetro de las poleas puede ser el mismo o diferente para obtener diferentes relaciones de velocidad y torque.



Figura 42

7.6.2. *Engranajes cilíndricos*: consiste en dos engranajes metálicos con dientes rectos, que funcionan de forma paralela el uno con el otro. Su diámetro puede ser el mismo o diferente para obtener diferentes relaciones de velocidad y torque.



Figura 43



Figura 44

7.6.3. *Engranajes cónicos*: consiste en dos engranajes metálicos con dientes rectos, que funcionan de forma perpendicular el uno con el otro. Su diámetro puede ser el mismo o diferente para obtener diferentes relaciones de velocidad y torque.



Figura 45

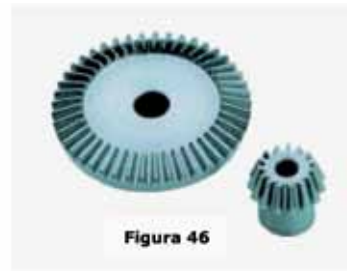


Figura 46

La transmisión basada en poleas y correas a lo largo del tiempo, tiende a desgastar la correa, la cual pierde tensión y se sale de las poleas. Se eligió a los engranajes cónicos ya que permiten situar a los motores a 90° de las ruedas ahorrando espacio sobre la base del robot. La relación elegida entre el piñón y la corona es de 1:1 ya que los motores poseen una caja de reducción externa que entregan el torque necesario para mover el robot.

7.7. Base

7.7.1. Material

La elección del tipo de material de la base se basó en cuatro características principales: debía mantenerse rígida al aplicarle peso, ser mecanizable, ser liviana y resistente a la corrosión.

Para ello se tuvieron en cuenta tres tipos de materiales:

7.7.1.1. *Policarbonato*: es un grupo de termoplásticos fácil de trabajar, moldear y termoformar. El nombre "policarbonato" se basa en que se trata de polímeros que presentan grupos funcionales unidos por grupos carbonato en una larga cadena molecular. Posee gran resistencia a los impactos y a la temperatura.

7.7.1.2. *Aluminio*: es un material no ferroso con propiedades tales como baja densidad ($2700\text{Kg}/\text{m}^3$), alta resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y fácil de mecanizar.

7.7.1.3. *Acero inoxidable*: es una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo contenido en su masa. Su principal característica es la resistencia a la corrosión y facilidad de mecanizado.

Si bien los tres tipos de materiales son adecuados en rigidez, y siendo el policarbonato más liviano que el aluminio, se eligió a este último por permitir un mecanizado más prolijo como también el anodizado del mismo.

7.7.2. Forma

La elección de la forma de la base se basó en una sola característica: debía permitir el movimiento holonómico utilizado.

Para ello se tuvieron en cuenta dos tipos de bases:

7.7.2.1. *Redonda*: con las ruedas omni-direccionales ubicadas a 120° de cada una.

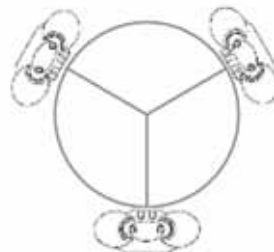


Figura 47

7.7.2.2 *Hexagonal*: con las ruedas omni-direccionales ubicadas a 120° de cada una, en cada cara de por medio del hexágono.

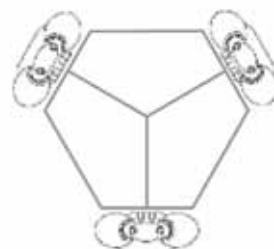


Figura 48

Si bien los dos tipos de bases son adecuados para permitir el movimiento holonómico, se eligió la base del tipo hexagonal, ya que las tres caras opuestas a las caras donde se encuentran las ruedas, son paralelas a las mismas, siendo más fácil la colocación de sensores de distancia del tipo infrarrojo o ultrasonido en ellas.

7.8. Tornillos

La elección de los tornillos se basó en dos características principales: debían ser duros y ser resistentes a la corrosión.

Para ello se tuvieron en cuenta tres tipos de tornillos con cabeza hexagonal:

7.8.1. *Acero pavonado*: el pavonado consiste en la aplicación de una capa superficial de óxido abri-llantado, de composición principalmente Fe_2O_3 , de color azulado, negro o café, con el que se cubren las piezas de acero para mejorar su aspecto y evitar su corrosión



Figura 49

7.8.2. *Acero inoxidable*: es una aleación de acero con un mínimo de 10% de cromo contenido en su masa. Su principal característica es la resistencia a la corrosión.



Figura 50

7.8.3. *Titanio*: es liviano, fuerte, brillante, resistente a la corrosión (incluyendo agua salada y cloro).



Figura 51

Se descartó a los tornillos de acero pavonado porque tienden a oxidarse mínimamente con el tiempo. Y si bien los tornillos de acero inoxidable y de titanio cumplen los requisitos antes mencionados, se eligió a los tornillos de acero inoxidable por tener un menor costo que los de titanio.

8. Desarrollo del Prototipo

8.1. Módulos de hardware

8.2.1. Módulo cerebro

Este módulo se encarga de coordinar las tareas que realizan todos los demás módulos. Posee un microcontrolador PIC16F88 que es el cerebro del robot. Al ser una arquitectura distribuida no es necesario un microcontrolador más potente con más memoria para el código hexadecimal o más velocidad de ejecución. Además, este módulo posee 12 micro-pulsadores ubicados en el borde, que se utilizaron para probar diferentes situaciones durante el desarrollo del robot.

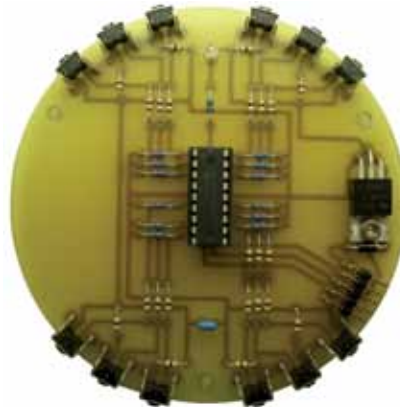


Figura 52

8.2.2. Módulo motor

Este módulo se encarga de manejar los tres motores que permiten el movimiento holonómico. Posee un microcontrolador PIC16F767 que controla a dos drivers de motores "SN754410" (cuatro puentes "H" completos, de los cuales se usan tres). Además, posee tres módulos PWM (Pulse Width Modulation) por hardware (que no consumen tiempo de ejecución), que varían independientemente la velocidad de cada motor, requisito indispensable para el movimiento holonómico.

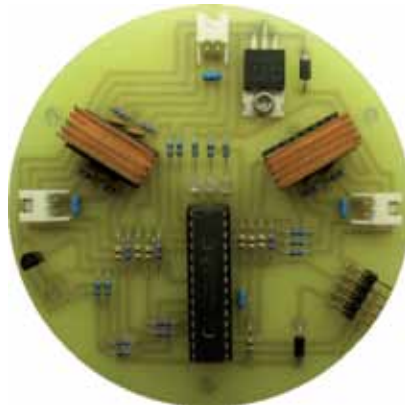


Figura 53

8.2.3. Módulo vocal

Este módulo se encarga de reproducir verbalmente, de manera natural, palabras y oraciones de hasta 80 caracteres (o 30 frases pre-definidas), que reportan el estado del robot, es decir, aquellos eventos (errores y advertencias) que se consideró necesario reportar de manera constante. Este módulo posee un microcontrolador PIC16F88 que controla a un módulo vocal "Devantech SP03".

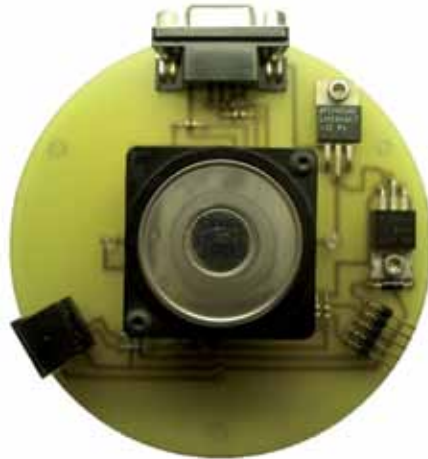


Figura 54

8.2.4. Módulo auditivo

Este módulo se encarga de escuchar los comandos verbales que emite el interlocutor y de ejecutar eventos a partir de ellos. Para que estos comandos verbales sean reconocidos, el interlocutor debe ser el mismo que previamente entrenó dichos comandos. Este módulo posee un microcontrolador PIC16F88 que controla a un módulo reconocedor de voz "Voice Direct 364" de Sensory, que es capaz de reconocer hasta 15 comandos verbales. Cada una de estos comandos verbales solo ejecuta un evento, si previamente se reconoció una única palabra clave predeterminada, evitando así cometer errores al escuchar del medio ambiente cualquier palabra que coincida con las 15 comandos verbales entrenados.



Figura 55

8.2.5. Módulo sensor infrarrojo

Este módulo se encarga de detectar objetos a corta distancia. Posee un microcontrolador PIC16F88 que controla tres sensores infrarrojos GP2D02 de Sharp. Cada sensor tiene un rango de detección de objetos de 10 a 80 centímetros y están ubicados, uno en cada cara opuesta, a las caras donde están las ruedas. Si bien los sensores pueden detectar objetos dinámicamente dentro de su rango de trabajo, se pre-determinó la detección de objetos a 35 centímetros de ellos.

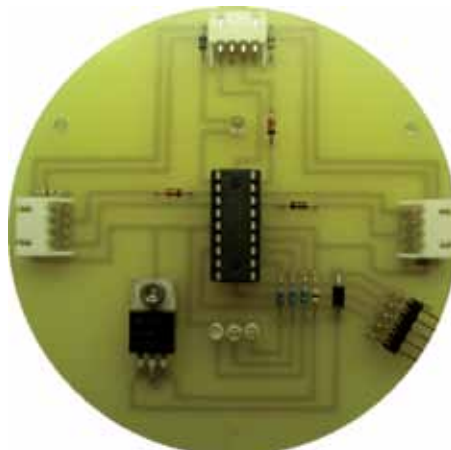


Figura 55

8.2.6. Módulo sensor ultrasonido

Este módulo se encarga de detectar objetos a larga distancia. Posee un microcontrolador PIC16F88 que controla tres sensores de ultrasonido SRF05 de Devantech. Cada sensor tiene un rango de medición de 1cm a 4m con un ángulo de detección de 45° y están ubicados en la misma posición que los sensores infrarrojos pero a 30cm de altura con respecto del piso, para evitar que los ecos generados se reflejen en el piso y generen falsas mediciones. Si bien los sensores pueden detectar objetos dinámicamente dentro de su rango de trabajo, se pre-determinó la detección de objetos a 2m de ellos.

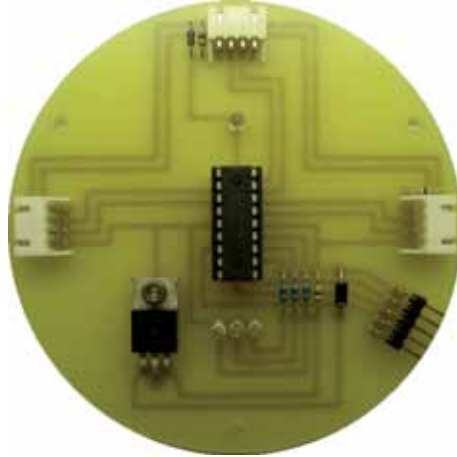


Figura 57

8.2.7. Módulo transmisor

Este módulo se encarga de transmitir hacia una computadora, de manera inalámbrica, aquellos eventos (errores y advertencias) que se consideró necesario reportar de manera constante. Cumple exactamente la misma función que el módulo vocal pero con la diferencia de que se puede monitorear remotamente el estado del robot desde una PC que posee un módulo receptor de similares características. Este módulo posee de un microcontrolador PIC16F88 que controla a un módulo transmisor de radio frecuencia (FM) de Wenshing que trabaja a 434Mhz. La distancia efectiva de transmisión es de 50 metros al aire libre.

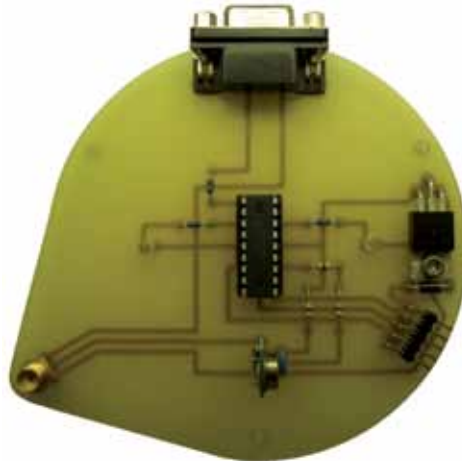


Figura 58

8.2.8. Módulo de alimentación

Este módulo se encarga de alimentar a todo el robot. Mediante la utilización de 18 pilas AA de NiMh de 2700Mh se obtienen dos líneas de alimentación. Una de 7,2 volts, que cada módulo regula luego a 5 volts; y otra de 14,2 volts, que cada módulo regula luego a 12 volts. Este módulo posee un microcontrolador PIC16F88 que se encarga de monitorear el nivel de tensión de estas dos líneas de alimentación para que no pasen de un nivel mínimo seguro de tensión.

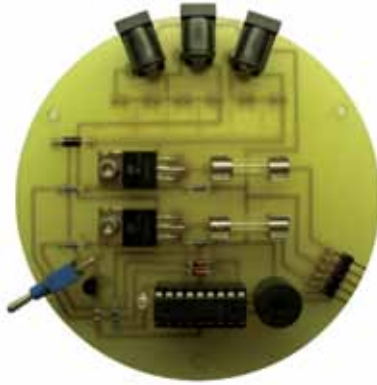


Figura 59

8.2. Estructura mecánica

La forma de la base elegida es hexagonal, siendo los tres lados donde se ubican las ruedas más cortos que los tres lados donde se ubican los sensores de distancia. Esta elección de la forma es una cuestión estética que no influye en el funcionamiento del mismo, y tranquilamente podrían haber sido los cuatro lados iguales.



Figura 60



Figura 61

8.3. Robot Autónomo Móvil

A continuación se presentan algunas fotos del robot terminado:



Figura 62



Figura 63

9. Conclusiones

Como conclusiones de esta tesina presentamos los siguientes puntos:

9.1. Conocimiento

El conocimiento adquirido en esta tesina fue muy importante. Se adquirió conocimientos sobre las diferentes marcas y modelos de microcontroladores, sus características y lenguajes de programación; sobre protocolos de comunicaciones, especialmente sobre el protocolo I²C; sobre los diferentes modelos de sensores de distancia, especialmente los de ultrasonido; sobre cinemática, especialmente sobre el movimiento holonómico; sobre módulos específicos de hardware; y sobre mecánica, electrónica y robótica en general.

9.2. Disponibilidad

El desarrollo de esta tesina se basa principalmente en módulos comerciales disponibles solo en el exterior, sin estos módulos el desarrollo de la misma no hubiera sido posible. Esto implica un agregado tanto en el tiempo para conseguir las partes como en el costo de las mismas, ya que su origen es Americano o Europeo. Sin mencionar que ante una falla de fabrica o un error en el armado, que inhabilite algunos de dichos módulos, implica volver a adquirirlos en dichos continentes.

9.3. Tiempo

El tiempo dedicado a esta tesina fue más del esperado. Teniendo en cuenta que el plazo establecido para desarrollar una tesina es de 6 meses, se ha superado ampliamente dicho plazo. Cada módulo se desarrolló e implementó al menos dos veces (y hasta cinco) debido a fallas y/u omisiones en el diseño del hardware, consumiendo mas tiempo y dinero de lo esperado.

9.4. Costos

A continuación se detallan a grandes rasgos los costos de implementación del robot. Los precios están expresados en dólares sin incluir el envío o los impuestos aduaneros:

- 3 ruedas omni-direccionales de 6cm = u\$s 75
- 3 motores con caja reductora = u\$s 90
- 3 drivers para motores DC = u\$s 12
- 3 sensores de distancia infrarrojos = u\$s 36
- 3 sensores de distancia ultrasónicos = u\$s 90
- 1 módulo de reconocimiento de voz = u\$s 35
- 1 módulo sintetizador de voz = u\$s 110
- 1 módulo transmisor de RF = u\$s 10
- 1 base de aluminio mecanizado = u\$s 200
- 8 placas de epoxi virgen = u\$s 25
- 18 pilas AA NiMh de 2700Mh = u\$s 75

A esta lista hay que sumarle los costos de los componentes de cada placa (resistencias, capacitores, reguladores, conectores, LEDs, zócalos, cables), los costos de los componentes de la transmisión (poleas, correas, rulemanes, ejes, tornillos), los costos de implementación de cada placa (hojas termosensibles, percloruro férrico líquido, estaño, virulana, alcohol isopropílico, toner), y los costos de los materiales adicionales que son parte del robot.

A grandes rasgos podemos decir que se invirtió fácilmente u\$s 1500 en el desarrollo de este robot, que si bien parece un valor excesivo, no lo es, debido a la calidad y lo novedoso de sus componentes.

9.5. Balance

Si uno mira desde afuera a esta tesina puede observar que es un trabajo complejo que requirió tiempo, dinero y esfuerzo para poder llevarla a cabo. Tranquilamente se podría haber desarrollado un robot más simple y de menor costo, que hubiese llevado menos tiempo de desarrollo e implementación (como Mini-Ram). También se podría haber desarrollado otro tema, como ser un producto de software o un trabajo de investigación.

Pero un desarrollo de ese estilo no hubiera satisfecho la curiosidad del autor que buscaba desarrollar una tesina que fuera al menos innovadora en el ámbito académico, que aportara conocimientos nuevos en el ámbito de la robótica y que propusiera un desafío interesante de resolver.

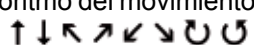
10. Líneas Futuras de Investigación

Antes de mirar hacia al futuro, podemos mirar hacia al pasado y comparar las características que poseía R.A.M. con respecto a las características que posee este Robot Autónomo Móvil. A continuación se muestra una tabla comparativa entre ambos:

R.A.M.	Robot Autónomo Móvil
Microprocesado	Microcontrolado
Módulos de lógica tradicional	Módulos microcontrolados
Comunicación paralela entre módulos	Comunicación serie entre módulos
Seis ruedas sin cubiertas	Tres ruedas omni-direccionales
Cuatro sentidos de movimiento	Movimiento holonómico
Dos motores con caja reductora	Tres motores con caja reductora
Seis sensores infrarrojos digitales	Tres sensores infrarrojos digitales
No posee esta característica	Tres sensores ultrasónicos
No posee esta característica	Reconocimiento de voz
No posee esta característica	Sintetizador de voz
No posee esta característica	Enlace simplex de radiofrecuencia
Programación en 'C' y PicBasic Pro	Programación en PicBasic Pro

Por haber elegido una estructura distribuida para el diseño y la construcción del robot, es posible que el mismo pueda seguir incorporando nuevas funciones con sólo agregar nuevas placas y modificar el código de la placa cerebro para que este interactúe con las mismas.

Como posibles mejoras a este robot autónomo móvil se pueden mencionar:

- Incorporar una cámara de video color (al menos CMUCAM1) para detección y seguimiento de objetos.
- Incorporar módulos de orientación, como GPS o brújulas digitales.
- Mejorar el algoritmo del movimiento holonómico, ya que solamente se desarrollaron los siguientes movimientos: 
- Mejorar el algoritmo del rango de los sensores, ya que no se utilizó el rango en todo su alcance, sino una distancia fija de detección.
- Mejorar el algoritmo de determinación de caminos óptimos.
- Mejorar el software en su totalidad.

11. Referencias Bibliográficas

11.1. Libros y manuales

11.1.1. Angulo Usategui, José María – Martínez, Ignacio Angulo - *Microcontroladores PIC - Diseño Práctico de Aplicaciones* - McGraw Hill - 1997 - ISBN: 84-481-1238-5

11.1.2. Angulo Usategui, José María - *Robótica Práctica - Tecnología y Aplicaciones* - Editorial Paraninfo - 1995 - ISBN: 84-283-2239-2

11.1.3. Axelson, Jan - *Parallel Port Complete - Programming, Interfacing & Using the PC's Parallel Printer Port* – Lakeview Research - 1999 - ISBN: 09-650-8191-5

11.1.4. Barrientos, Antonio. *Fundamentos de Robótica*

ISBN: 978-84-481-5636-7

11.1.5. Croquet, Michel - *PC y Robótica - Técnicas de Interfaz* - Editorial Paraninfo - 1996 - ISBN: 84-283-2116-7

11.1.6. McComb, Gordon - *Robot Builders Bonanza - 99 Inexpensive Robotics Projects* - TAB Books - 1987 - ISBN: 978-08-306-2800-1

11.1.7. Tafari, Antonrio R. - *Teoría y Diseño de Microcontroladores PIC* - Inca Editorial Talleres Gráficos - 2000 - ISBN: 987-43-1868-6

11.1.8. Tischer, Michael - *PC Intern - System Programming* - 5th Edition - Abacus Software - 1995 - ISBN: 155-75-5282-7

11.1.9. Micro Engineering Labs Inc. - *Picbasic Pro Compiler*

<http://www.melabs.com/resources/index.htm#Manuals>

11.2. Sitios de Internet

11.2.1. Acroname Robotics - www.acroname.com

11.2.2. Atmel - www.atmel.com

11.2.3. Averlogic Technologies - www.averlogic.com

11.2.4. Basic Micro - www.basicmicro.com

11.2.5. ChipDocs - www.chipdocs.com

11.2.6. Conrad Electronics - www.conrad.de

11.2.7. Crownhill Associates - www.picbasic.org

11.2.8. Crownhill Associates - www.crownhill.co.uk

11.2.9. Digi-Key Corporation - www.digikey.com

11.2.10. eBay - www.ebay.com

11.2.11. Editorial Técnica Plaquetodo - www.plaquetodo.com

11.2.12. Electrónica Musikman - www.musikmanweb.com.ar

11.2.13. Elecom - www.elecom.com.ar

11.2.14. Fairchild Semiconductors - www.fairchildsemi.com

11.2.15. Freescale Semiconductor / Motorola - www.freescale.com

11.2.16. GATA Tornillos - www.gatatornillos.com.ar

11.2.17. Magnevation LLC - www.magnevation.com

11.2.18. Maxim / Dallas Semiconductor - www.maxim-ic.com

11.2.19. Micro Engineering Labs Inc. - www.picbasic.com

11.2.20. Microchip Technology Inc. - www.microchip.com

11.2.21. Palm Pilot Robot Kit - www.cs.cmu.edu/~pprk

11.2.22. Parallax Inc. - www.parallax.com

11.2.23. Reynolds Electronics - www.rentron.com

11.2.24. Roboter Teile - www.roboter-teile.de

11.2.25. Robots Electronics - www.robot-electronics.co.uk

11.2.26. Sanyo Electric Co. Ltd. Global - www.sanyo.com

11.2.27. Sensory - www.sensoryinc.com

11.2.28. Sharp Corporation - www.sharp-world.com

11.2.29. Texas Instruments - www.ti.com

11.2.30. The CMUcam Vision Sensors - www.cs.cmu.edu/~cmucam

11.2.31. Ubiocom - www.ubiocom.com

11.2.32. Winbond Electronics Corporation - www.winbond-usa.com

12. Anexo Técnico

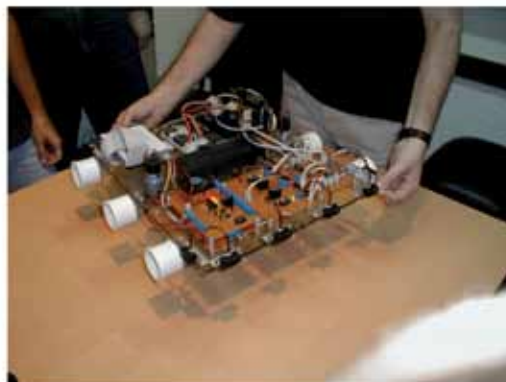
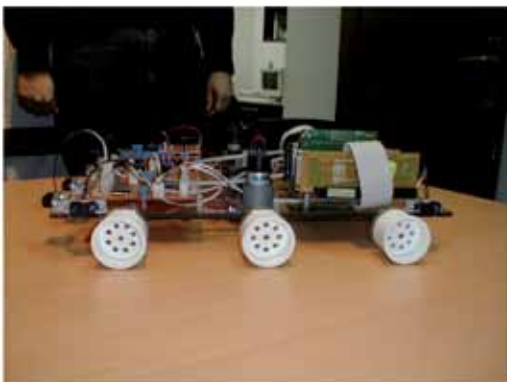
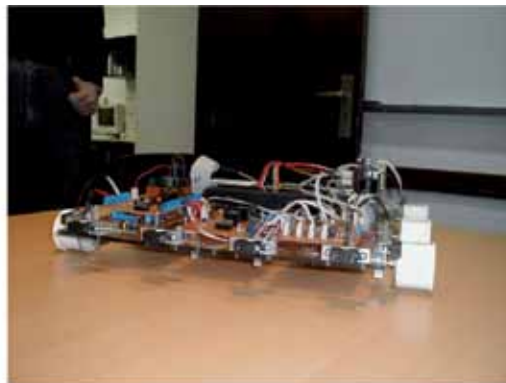
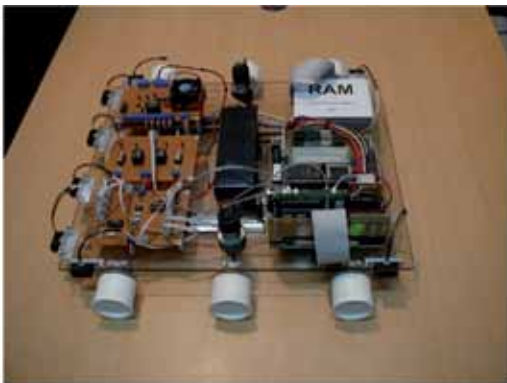
12.1. Robot R.A.M.

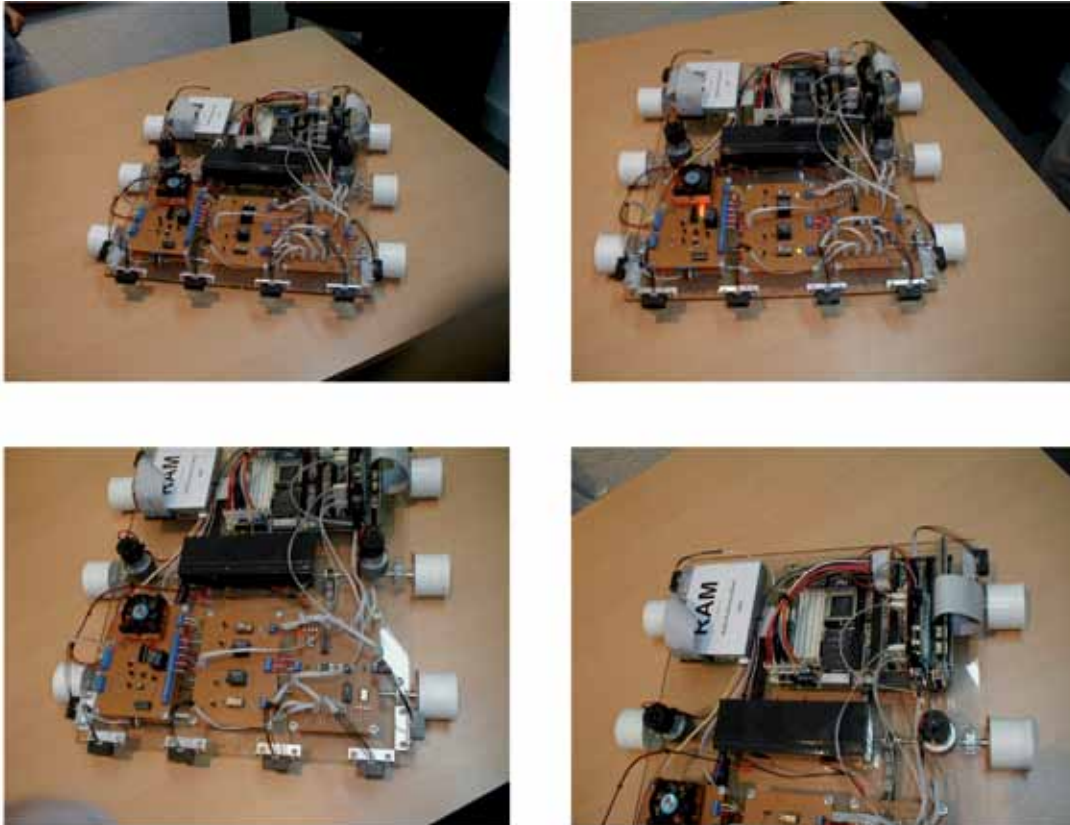
Como antecedente de esta tesina se presentó a R.A.M., un robot autónomo móvil que imita el movimiento de una tortuga, es decir, se mueve siempre hacia adelante y hacia los costados girando sobre su eje vertical, evitando los objetos que se le interponen en su camino. Si bien el robot tiene la habilidad de moverse hacia atrás, no es parte de su programación.

El desarrollo del hardware se realizó con un motherboard con procesador integrado Intel 386DX-33Mhz con coprocesador RapidCAD, 4Mb de memoria RAM y disquetera de 3½, incorporando además placas específicas de desarrollo propio.

El desarrollo del software se realizó en C y C++ bajo la plataforma MS-DOS 6.22 y en Basic de PicBasic Pro para los microcontroladores de Microchip.

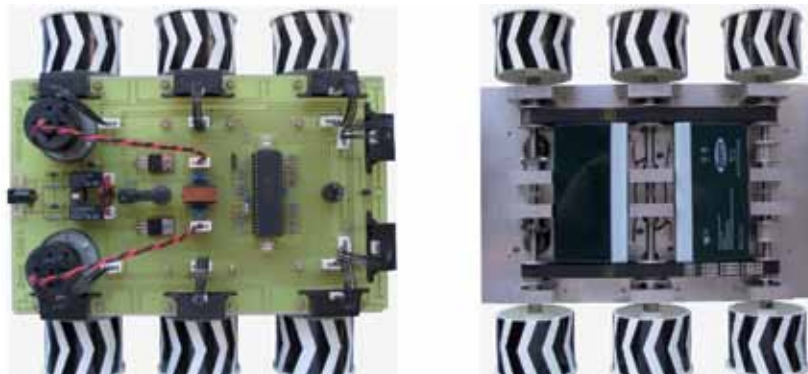
A continuación se presentan más fotos del mismo:





12.2. Robot Mini-RAM

El robot Mini-RAM es la versión mejorada microcontrolada del robot R.A.M. (que funcionaba con una PC). Con solo 30x30cm de tamaño (en comparación con los 50x50cm de R.A.M.) posee las mismas características funcionales con el agregado de un módulo transmisor de RF, la utilización de un driver de estado sólido (SN754410) para controlar ambos motores (en lugar de 4 relés) y un procesamiento centralizado a cargo de un solo microcontrolador PIC18F452.



12.3. Microcontroladores

12.3.1. Microchip PIC - Gama enana

Se trata de un grupo de PICs de reciente aparición que ha acaparado la atención del mercado. Su principal característica es su reducido tamaño, al disponer todos sus modelos de ocho pines. Se alimentan con una tensión de corriente continua comprendido entre 2,5V y 5,5V, y consumen menos de 2mA cuando trabajan a 5V y 4Mhz. El formato de sus instrucciones puede ser de 12 o 14 bits y su repertorio es de 33 o 35 instrucciones, respectivamente.

Aunque estos PICs poseen ocho pines, se pueden destinar hasta seis de ellos como líneas de entrada y salida ya que disponen de un oscilador interno R/C.

Los modelos 12C5xx pertenecen a la gama baja, siendo el tamaño de las instrucciones de 12 bits, mientras que los 12C6xx son de la gama media y sus instrucciones tienen 14 bits. Los modelos 12F6xx poseen memoria Flash para el programa y EEPROM para los datos.



12.3.2. Microchip PIC - Gama baja o básica

Se trata de una serie de PICs de recursos limitados, pero con una de las mejores relaciones costo/prestaciones. Sus versiones están encapsuladas en 18 y 28 pines y pueden a partir de una tensión de 2,5V, lo que les hace ideales en las aplicaciones que funcionan con pilas. Tienen un repertorio de 33 instrucciones cuyo formato consta de 12 bits. No admiten ningún tipo de interrupción y la Pila sólo dispone de dos niveles.



12.3.3. Microchip PIC - Gama media

Es la gama más vendida y completa de los PIC. Abarca modelos con encapsulados desde 18 hasta 68 pines, cubriendo varias opciones que integran abundantes periféricos. Dentro de esta gama se halla el conocido PIC16x84 y sus variantes.



Tiene un repertorio de 35 instrucciones de 14 bits cada una y son compatibles con las de gama baja. Sus distintos modelos contienen todos los recursos que se precisan en las aplicaciones de los microcontroladores de 8 bits. También disponen de interrupciones y una Pila de 8 niveles que permite el anidamiento de subrutinas.

La gama media puede clasificarse en las siguientes subfamilias:

- *Gama media estándar:* PIC16C55x
- *Gama media con comparador analógico:* PIC16C62x/64x/66x.
- *Gama media con módulos de captura (CCP), modulación por ancho de pulso (PWM) y puerto serie:* PIC16C6x
- *Gama media con conversor analógico digital de 8 bits:* PIC16C7x
- *Gama media con conversor analógico digital de precisión:* PIC14C000
- *Gama media con memoria Flash y EEPROM:* PIC16x8x
- *Gama media con driver LCD:* PIC16C92x



Encuadrado en la gama media también se halla la versión PIC14C000, que soporta el diseño de controladores inteligentes para cargadores de baterías, pilas pequeñas, fuentes de alimentación ininterrumpibles (UPS) y cualquier sistema de adquisición y procesamiento de señales que requiera gestión de la energía de alimentación. Los PIC14C000 admiten cualquier tecnología de las baterías, como Lilon, NiMh, Pb y Zinc.

12.3.4. Microchip PIC - Gama alta

Se alcanzan las 58 instrucciones de 16 bits en el repertorio y sus modelos disponen de un sistema de gestión de interrupciones vectorizadas muy potente. También incluyen variados controladores de periféricos, puertos de comunicaciones serie y paralelo con elementos externos y un multiplicador por hardware de gran velocidad.

La característica más destacable de los componentes de esta gama es su arquitectura abierta, que consiste en la posibilidad de ampliación del microcontrolador con elementos externos. Para este fin los pines sacan al exterior las líneas de los buses de datos, direcciones y control, a las que se conectan memorias o controladores de periféricos. Esta filosofía de construcción del sistema es la que se empleaba en los microprocesadores y no suele ser una práctica habitual cuando se emplean microcontroladores.



12.4. Compiladores

12.4.1. Melabs PicBasic

El PicBasic es un compilador del lenguaje Basic que traduce código fuente escrito en Basic a código hexadecimal. El tamaño del código fuente está limitado a los primeros 2Kbytes del espacio asignado al código fuente en el microcontrolador, las interrupciones se deben manejar en lenguaje assembler, y el acceso a los registros internos y el movimiento de información desde y hacia variables predefinidas se debe hacer mediante dos funciones, Peek y Poke. Algunos comandos internos sólo se pueden utilizar con los puertos B, C ó GPIO, y todos los puertos se pueden acceder mediante las funciones Peek y Poke. La velocidad del reloj de los microcontroladores está pre-establecida a 4Mhz y soporta la mayoría de los microcontroladores de 14 bits.



12.4.2. Melabs PicBasic Pro

El PicBasic Pro es un compilador del lenguaje Basic que traduce código fuente escrito en Basic a código hexadecimal. Es una versión completa del PicBasic que no tiene limitaciones con respecto a la utilización del espacio asignado al código fuente en el microcontrolador. Las interrupciones se puede manejar tanto en assembler como en Basic. El acceso a los registro internos se puede hacer de forma directa y los comandos internos se pueden utilizar en cualquier puerto o pin. La velocidad del reloj del microcontrolador se puede establecer desde 3,58 a 64Mhz, dependiendo del microcontrolador utilizado. También permite definir nombres de variables personalizadas, incluyendo arreglos de bits, bytes, word y long (32 bits con signo) permitiendo hacer y mostrar cálculos con un rango de 2.147.483.648 a 2.147.483.647. Soporta todos los microcontroladores incluyendo las series 17x, 18C, 18F y los microcontroladores de 12 bits. Además, utiliza entre un 5-10% menos de espacio de código hexadecimal que los demás compiladores y posee una extensa librería de funciones.



12.4.3. Crownhill Proton Plus

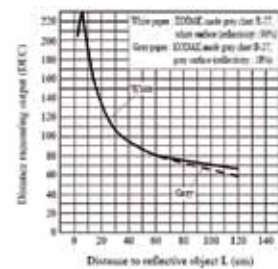
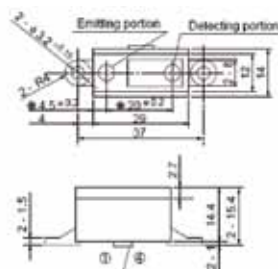
El Proton Plus es un compilador del lenguaje Basic que traduce código fuente escrito en Basic a código hexadecimal. Maneja variables del tipo arreglos de hasta 256 elementos, enteros y flotantes de 32 bits, como también bits, bytes y words. Posee funciones predefinidas que le permiten leer y escribir en memorias Compact Flash y EEPROM, utilizar protocolos como el I²C, X10 y USB, manejar servos y controlar pantallas gráficas (LCD). Soporta todos los microcontroladores incluyendo la serie 18F y los microcontroladores de 12 bits.



12.5. Sensores infrarrojos

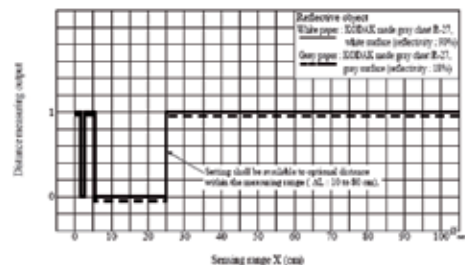
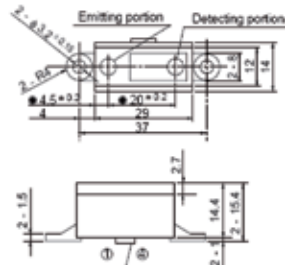
12.5.1. Sharp GP2D02

El GP2D02 es un sensor de distancia infrarrojo digital que posee un rango de detección mínimo de 10cm y máximo de 80cm. La distancia obtenida se lee como una serie de 8 bits que corresponden a la distancia medida.



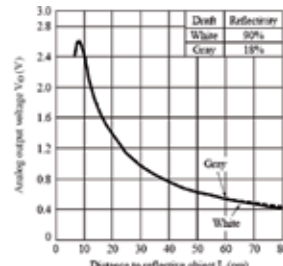
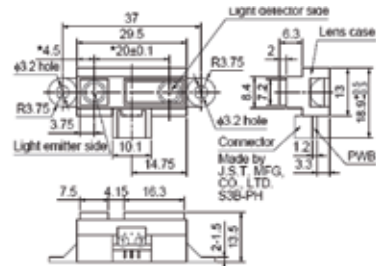
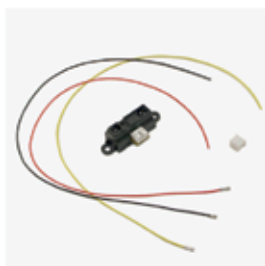
12.5.2. Sharp GP2D05

El GP2D05 es un sensor de distancia infrarrojo analógico que posee un rango de detección mínimo de 10cm y máximo de 80cm. El umbral de detección esta establecido en 24cm pero se puede modificar según la necesidad. La salida tiene solo dos niveles lógicos (1 y 0) correspondientes a la detección o no de un objeto.



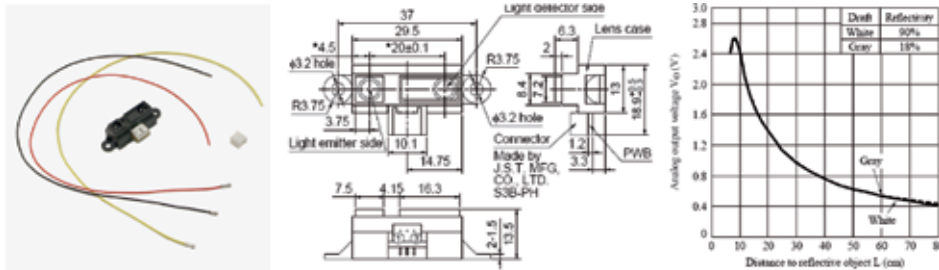
12.5.3. Sharp GP2D12

El GP2D12 es un sensor de distancia infrarrojo analógico que posee un rango de detección mínimo de 10cm y máximo de 80cm. La distancia obtenida se lee como un nivel de tensión específico que corresponden a la distancia medida.



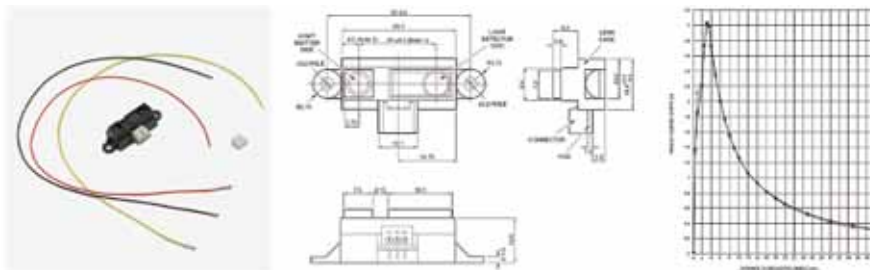
12.5.4. Sharp GP2D15

El GP2D15 es un sensor de distancia infrarrojo digital que posee un rango de detección mínimo de 10cm y máximo de 80cm. El umbral de detección esta establecido en 24cm pero se puede modificar según la necesidad. La salida tiene solo dos niveles lógicos (1 y 0) correspondientes a la detección o no de un objeto.



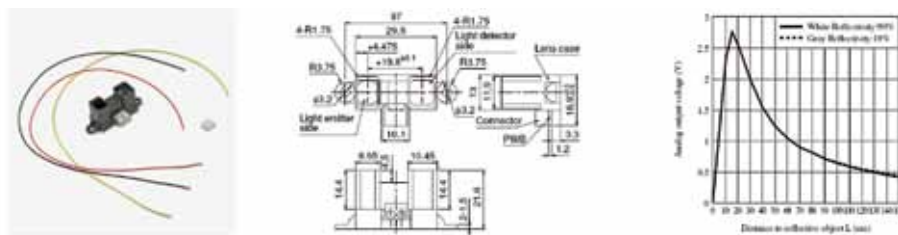
12.5.5. Sharp GP2D120

El GP2D120 es un sensor de distancia infrarrojo analógico que posee un rango de detección mínimo de 4cm y máximo de 30cm. La distancia obtenida se lee como un nivel de tensión específico que corresponden a la distancia medida.



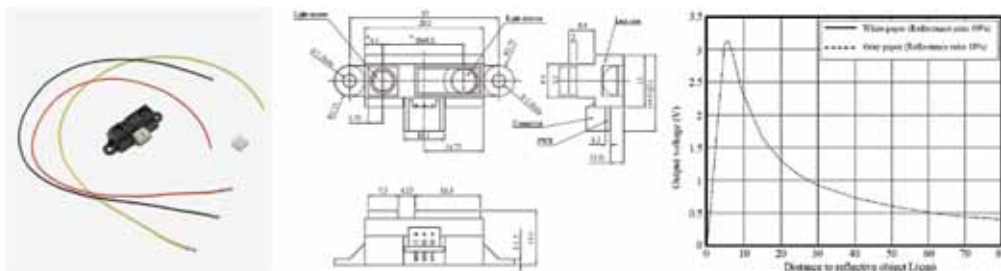
12.5.6. Sharp GP2Y0A02YK

El es un sensor de distancia infrarrojo analógico que posee un rango de detección mínimo de 20cm y máximo de 150cm. La distancia obtenida se lee como un nivel de tensión específico que corresponden a la distancia medida.



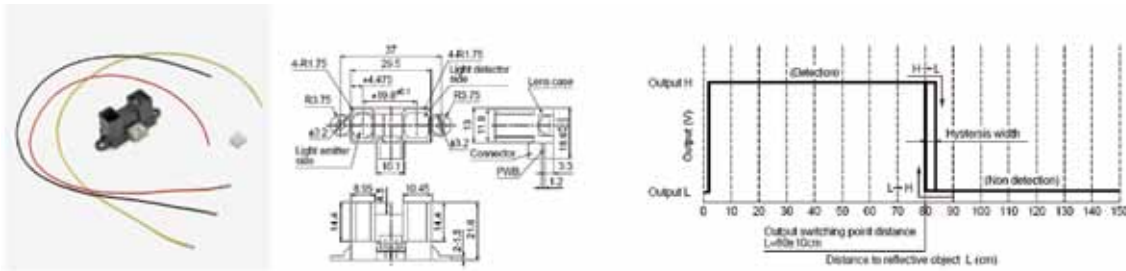
12.5.7. Sharp GP2Y0A21YK

El es un sensor de distancia infrarrojo analógico que posee un rango de detección mínimo de 10cm y máximo de 80cm. La distancia obtenida se lee como un nivel de tensión específico que corresponden a la distancia medida.



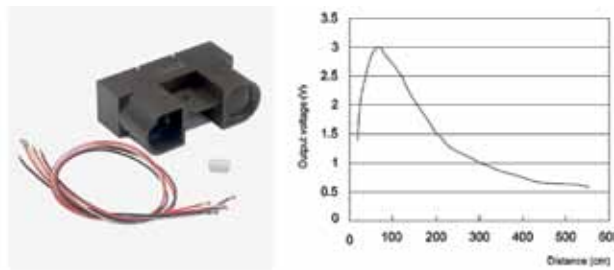
12.5.8. Sharp GP2Y0D02YK

El es un sensor de distancia infrarrojo digital que posee un rango de detección mínimo de 20cm y máximo de 1,5m. El umbral de detección esta establecido en 24cm pero se puede modificar según la necesidad. La salida tiene solo dos niveles lógicos (1 y 0) correspondientes a la detección o no de un objeto.



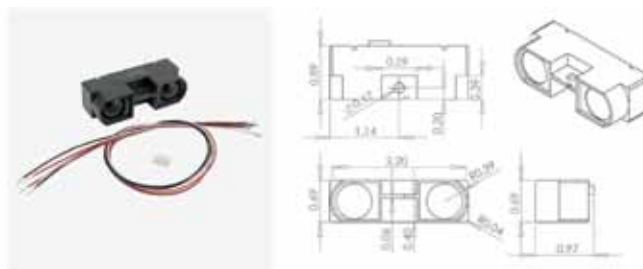
12.5.9. Sharp GP2Y0A700K0F

El es un sensor de distancia infrarrojo analógico que posee un rango de detección mínimo de 1m y máximo de 5,5m. La distancia obtenida se lee como un nivel de tensión específico que corresponden a la distancia medida.

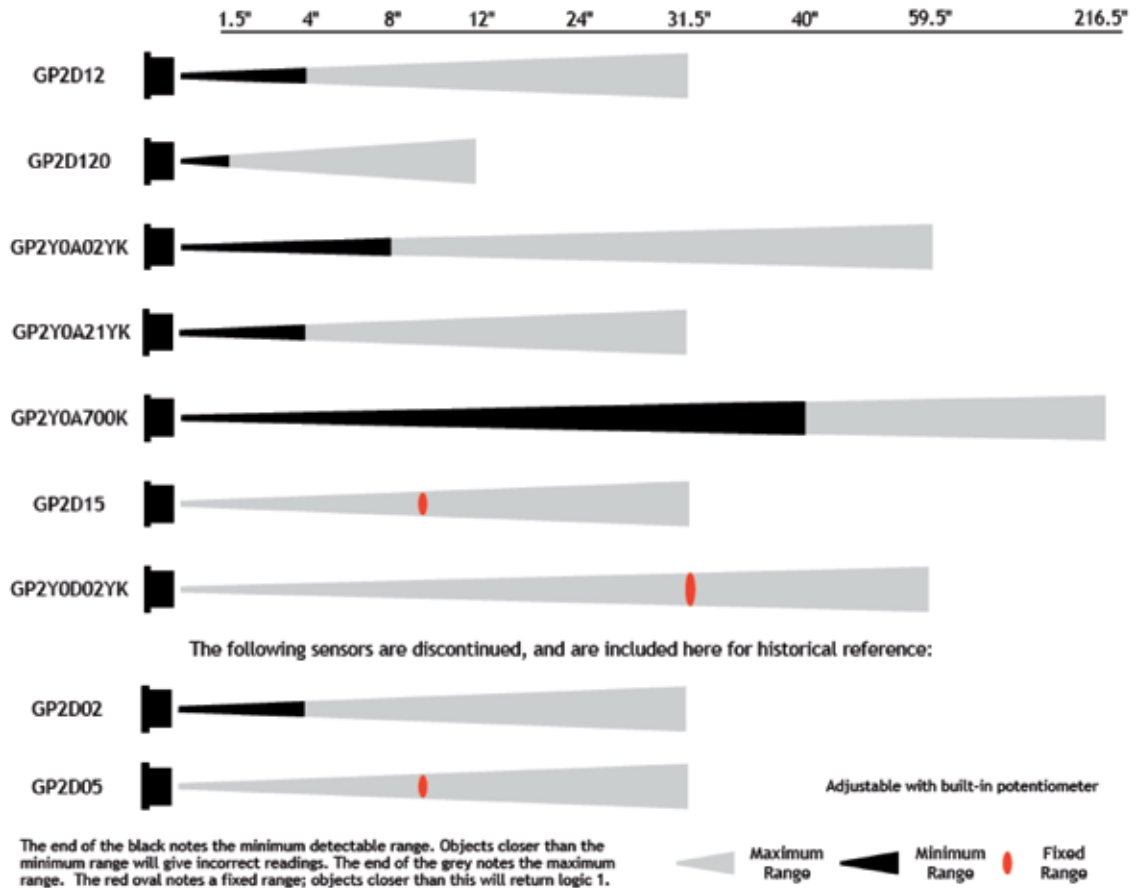


12.5.10. Sharp GP2Y0A710YK

El es un sensor de distancia infrarrojo analógico que posee un rango de detección mínimo de 1m y máximo de 5,5m. La distancia obtenida se lee como un nivel de tensión específico que corresponden a la distancia medida.



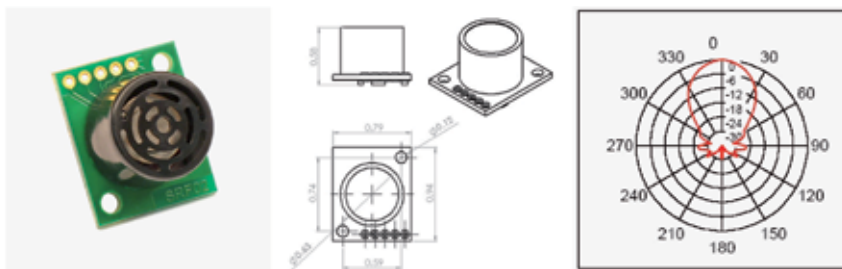
A continuación se muestra un cuadro comparativo entre los sensores de distancia infrarrojos:



12.6. Sensores ultrasónicos

12.6.1. Devantech SRF02

El SRF02 es un sensor de distancia por ultrasonido que posee un rango de detección mínimo de 16cm y máximo de 6m con un ángulo de detección de 45°. Utiliza un solo transductor de ultrasonido para transmitir y recibir las señales, y posee dos interfaces de comunicaciones basadas en los protocolo I²C y serie. La interfaz serie utiliza señales TTL con formato UART de 9600 bps con un bit de inicio, dos bits de fin y sin paridad. La distancia obtenida puede ser medida en us, centímetros o pulgadas.



12.6.2. Devantech SRF04

El SRF04 es un sensor de distancia por ultrasonido que posee un rango de detección mínimo de 3cm y máximo de 3m con un ángulo de detección de 45°. Utiliza dos transductores de ultrasonido, uno para transmitir, y otro para recibir las señales, y posee una interfaz de comunicación digital que utiliza señales TTL.



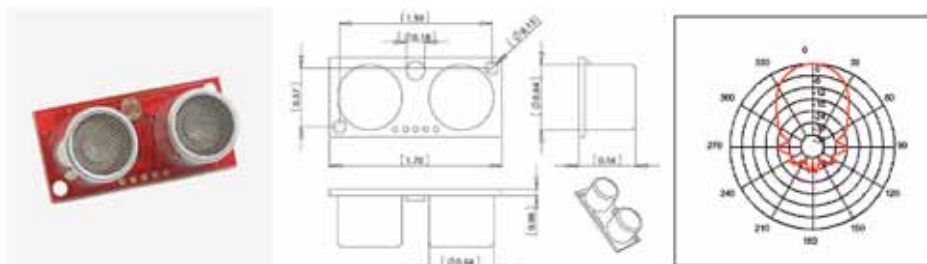
12.6.3. Devantech SRF05

El SRF05 es un sensor de distancia por ultrasonido que posee un rango de detección mínimo de 1cm y máximo de 4m con un ángulo de detección de 45°. Es la versión mejorada del SRF04 y como tal es totalmente compatible con el mismo.



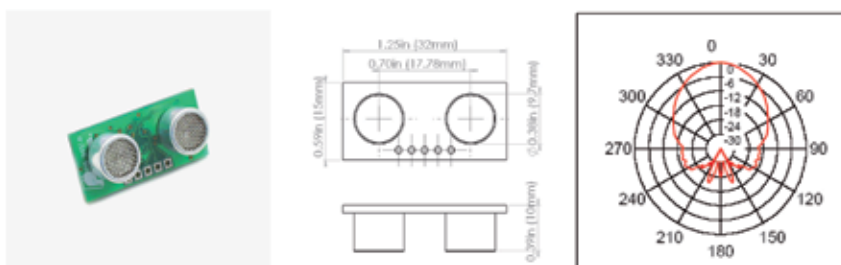
12.6.4. Devantech SRF08

El SRF08 es un sensor de distancia por ultrasonido que posee un rango de detección mínimo de 3cm y máximo de 6m con un ángulo de detección de 45°. Utiliza dos transductores de ultrasonido, uno para transmitir, y otro para recibir las señales y posee una interfaz de comunicaciones basada en el protocolo I²C.



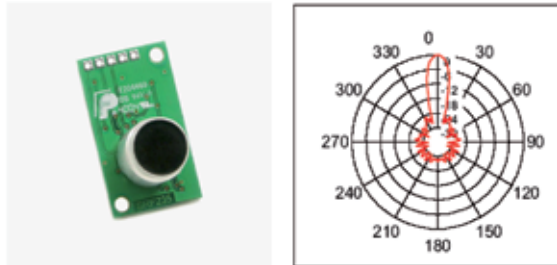
12.6.5. Devantech SRF10

El SRF10 es un sensor de distancia por ultrasonido que posee un rango de detección mínimo de 3cm y máximo de 6m con un ángulo de detección de 60°. Utiliza dos transductores de ultrasonido, uno para transmitir, y otro para recibir las señales, y posee una interfaz de comunicaciones basada en el protocolo I²C.



12.6.6. Devantech SRF235

El SRF235 es un sensor de distancia por ultrasonido que posee un rango de detección mínimo de 10cm y máximo de 120cm con un ángulo de detección de 15°. Posee una interfaz de comunicaciones basada en el protocolo I²C y utiliza un transductor industrial de alta frecuencia trabajando a 235KHz para transmitir y recibir las señales. La utilización de un solo transductor para transmitir y recibir la señal hace que tenga una “zona negra” en los primeros 10cm y la frecuencia utilizada no se transmite tan fácilmente por el aire con lo cual el rango máximo para objetos pequeños es de 100cm y para objetos grandes es de 120cm.



12.6.7. Parallax Ping

El Ping es un sensor de distancia por ultrasonido que posee un rango de detección mínimo de 2cm y máximo de 3m. Utiliza dos transductores de ultrasonido, uno para transmitir, y otro para recibir las señales, y posee una interfaz de comunicación digital que utiliza señales TTL.



A continuación se muestra un cuadro comparativo entre los sensores de distancia por ultrasonido:

Sensor	Protocolo	Rango		Angulo	Ecos	Tiempo de respuesta
SFR02	I ² C / serie	16cm	6m	45°	1	70ms
SRF04	Digital	3cm	3m	45°	1	100us – 36ms
SRF05	Digital	1cm	4m	45°	1	100us – 36ms
SRF08	I ² C	3cm	6m	45°	17	65ms
SRF10	I ² C	3cm	6m	60°	1	65ms
SRF235	I ² C	10cm	1,2cm	15°	1	10ms
Ping	Digital	2cm	3m	-	1	115us - 18.5ms

12.7. Sintetizadores de voz

12.7.1. Devantech SP03

El SP03 es un módulo sintetizador que convierte texto a voz mediante la utilización de un circuito sintetizador Winbond WTS701EM/T. Puede almacenar 30 frases (hasta 1925 caracteres en total) en memoria EEPROM y reproducir cualquier texto de hasta 80 caracteres. Posee tres interfaces de comunicaciones: I²C, serie (RS232 a 38400 bps) y paralelo. Mediante cualquiera de estas tres interfaces se puede controlar al módulo, pero solamente a través de la interfaz serie se le puede almacenar las 30 frases predeterminadas mediante un software propietario para PC. El módulo mide tan solo 40x40mm, consume 5V y 35mA en reposo o 100mA activo, e incluye un amplificador de audio de 325mW y un mini-parlante, por lo que tan solo es necesario la alimentación y las conexiones de control para su funcionamiento



12.7.2. SpeakJet

El SpeakJet es un complejo chip sintetizador de voz y de sonido totalmente autónomo diseñado para múltiples aplicaciones, desde productos comerciales a proyectos académicos. Utiliza un algoritmo matemático de sonido para controlar un sintetizador de sonido interno de cinco canales para generar sobre la marcha un vocabulario ilimitado de palabras y sonidos complejos. Está programado con 72 alfonemas (variante de los fonemas en un idioma en particular), 43 efectos de sonidos y 12 sonidos DTMF (Dual Tone Multiple Frequencies) utilizados en telefonía. A través de la selección de estos sonidos y en combinación con el control del pitch, velocidad y volumen, el usuario tiene la capacidad ilimitada de reproducir frases y efecto de sonido con miles de variaciones en cualquier momento. Posee un buffer de entrada interno de 64 bytes, una memoria EEPROM interna programable, tres salidas programables y acceso directo del usuario al sintetizador de sonido interno de cinco canales.



12.7.3. SP0256-AL2

El SP0256-AL2 es un complejo chip sintetizador de voz totalmente autónomo diseñado para reproducir los 59 fonemas del idioma inglés y cinco pausas de diferentes duraciones. Se puede acceder de forma independiente a cada uno de los 59 fonemas dando la posibilidad de expresar cualquier frase del idioma inglés.



12.8. Reconocedores de voz

12.8.1. Voice Direct 364

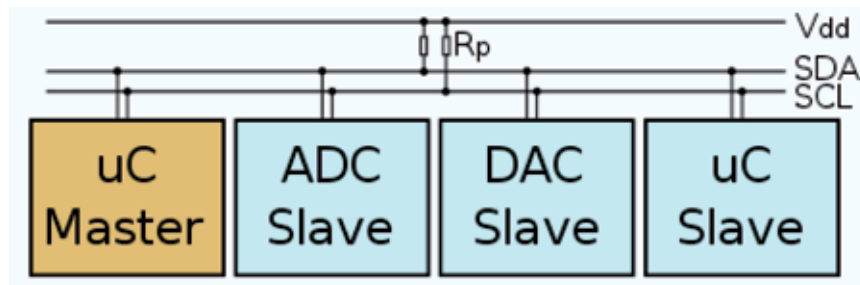
El voice direct 364 es un módulo reconocedor de voz fabricado por Sensory que reconoce hasta 60 palabras en modo esclavo y 15 en modo autónomo. Cada palabra puede tener una duración de 2,5 segundos y son almacenadas en una memoria EEPROM ocupando 128 bytes cada una. En el modo autónomo posee tres modos de operación y en el modo esclavo puede ser operado mediante la utilización de un microcontrolador. Posee ocho salidas digitales que se utilizan para indicar que palabra esta siendo reconocida. El entrenamiento del mismo es mediante la repetición de las palabras y el reconocimiento de las mismas está acotado a la persona que las entrenó.



12.9. Protocolos de comunicaciones

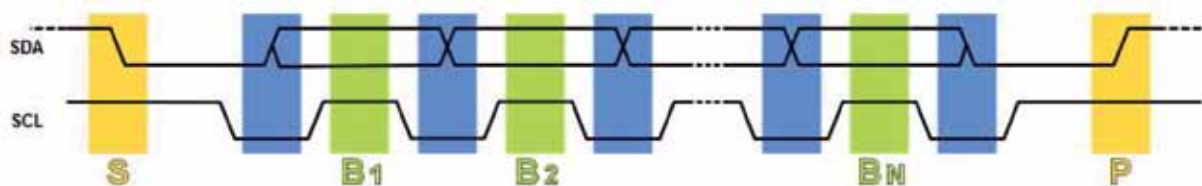
12.9.1. I²C

El I²C (Inter-Integrated Circuit) es un protocolo serie multi-maestro diseñado por Phillips en 1992 para permitir la comunicación entre componentes (dispositivos) de una misma placa, alcanzando velocidades de hasta 400kbts/s. Es un protocolo que, utilizando sólo dos líneas de comunicaciones (bus), le permite a un dispositivo maestro controlar hasta 112 dispositivos esclavos. Si bien existe la opción de tener varios dispositivos maestros sobre el mismo bus, esta opción no será analizada en este trabajo.



Las dos líneas de comunicaciones se denominan SCL y SDA, donde SCL es la línea del reloj y SDA es la línea de datos. El protocolo requiere que ambas líneas estén en estado 'high' (nivel lógico 1) a menos que el dispositivo maestro o algún esclavo lo establece en 'low' (nivel lógico 0).

A continuación se muestra el diagrama de señales en el bus:



La comunicación comienza (S) cuando el dispositivo maestro establece un nivel lógico 0 en la línea de datos. Los datos (B_1 , B_2 , B_N) se transfieren sincronizados con la línea del reloj. La comunicación termina (P) cuando el dispositivo maestro establece un nivel lógico 1 en la línea de datos.

La línea de datos sólo puede cambiar mientras la línea del reloj esté en nivel lógico 0. La línea de datos sólo se lee cuando la línea del reloj está en nivel lógico 1, por lo tanto sólo se puede transferir 1 bit por cada ciclo de reloj.

El dispositivo maestro envía inicialmente un bit de inicio seguido por los 7 bits correspondientes a la dirección del dispositivo esclavo con el cual se quiere comunicar. El bit siguiente representa si quiere escribir (nivel lógico 0) o leer (nivel lógico 1) del dispositivo esclavo.

El dispositivo esclavo responde con un bit de reconocimiento. La transmisión continua de acuerdo a si el dispositivo maestro quiere leer o escribir del dispositivo esclavo. Por último, el dispositivo maestro termina la comunicación con un bit de parada.

12.10. Sensores de visión

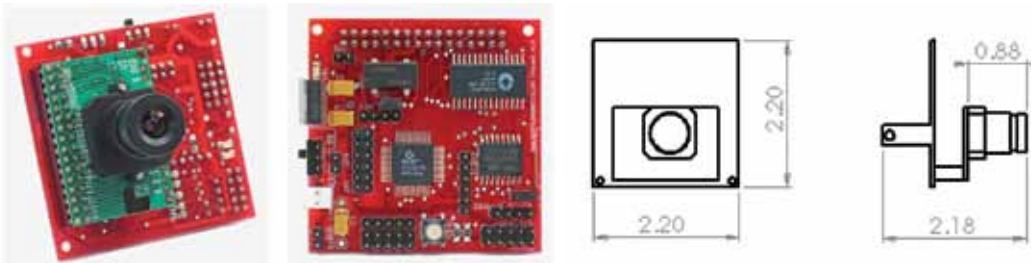
12.10.1. CMUCAM1

El CMUCAM1 es una cámara color de baja gama para robots, desarrollada por la Universidad de Carnegie Mellon que puede realizar rápidamente diferentes tareas de procesamiento de imágenes en tiempo real mediante la utilización de un microcontrolador veloz (SX28) de bajo costo. Posee una interfaz serie y captura 17 cuadros por segundo permitiendo seguir la posición y el tamaño de un objeto colorido o brillante, medir las estadísticas RGB o YUV de una región de una imagen, adquirir y seguir automáticamente el primer objeto que ve, seguir físicamente un objeto mediante un servo directamente conectado a la misma, transferir una imagen directamente a través del puerto serie, y transferir una imagen mostrando sólo la forma del objeto seguido. La velocidad de captura (cuadros por segundo) puede ser modificada a través de puerto serie, y el mismo soporta las siguientes velocidades: 9600, 19200, 38400 y 115200 bps.



12.10.2. CMUCAM2 - OV6620

El CMUCAM2 con la cámara OV6620 es una versión mejorada de la CMUCAM1, también desarrollada por la Universidad de Carnegie Mellon que incorpora un buffer de cuadros, una mejora en el microcontrolador (SX52) y nuevas funcionalidades. El procesador del CMUCAM1 y del CMUCAM2 tienen la misma velocidad (75Mhz), pero el SX52 tiene más memoria RAM (262 vs. 136 bytes), más memoria ROM (4096 vs. 2048 words) y más pines de entrada y salida. Pero la gran diferencia entre ambos es el buffer de cuadros que permite adquirir rápidamente un cuadro y guardarlo en el buffer. Esto tiene una serie de ventajas: en el CMUCAM1 el procesador tiene que procesar cada píxel en tiempo real mientras es adquirido por la cámara, permitiendo reducir la complejidad del diseño y el costo del hardware, pero reduciendo la capacidad de procesar cada píxel. En el CMUCAM2 puede realizar tareas más complejas de procesamiento por píxel ya que adquiere cada píxel del buffer y no de la cámara. La ventaja de no estar sincronizado con la cámara es que el microcontrolador no tiene que esperar a que la cámara le envíe un píxel para ser procesado, de esta forma el microcontrolador puede procesar un cuadro completo en menor tiempo. Debido a que en el buffer se pueden almacenar varios cuadros, el microcontrolador puede realizar operaciones sobre los mismos, como detectar movimiento, extraer estadísticas, y seguir diferentes colores. Debido que en la CMUCAM1 el microcontrolador estaba sincronizado con la cámara, la cantidad máxima de cuadros por segundo que se pueden capturar es de 17, en el CMUCAM2 gracias a la utilización del buffer, la cantidad máxima de cuadros por segundo que se pueden capturar es de 26. Esto permite que el ajuste automático de la exposición y del balance de blanco se realice más rápido, ya que estos ajustes se hacen por cuadro y ahora se procesan más cuadros por segundo.



12.10.3. CMUCAM2 - OV7620

El CMUCAM2 con la cámara OV7620 es una versión alternativa del CMUCAM2 con la cámara OV6620. En términos de capacidad, la cámara OV7620 tiene mayor resolución (664x492 pixels) que la cámara OV6620 (356x292 pixels).

