



CONSTRUCCION DE ROBOTS AUTÓNOMOS COLABORATIVOS

TESIS MAESTRIA EN INFORMÁTICA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA

UNIVERSIDAD ABIERTA INTERAMERICANA

Tesista: Ing. Néstor Adrián Balich

Director: Dr. Marcelo De Vincenzi

Diciembre 2009

Dedicatoria

A mis hijos Franco y Berenice.

A mi Esposa Mercedes.

A mi mentor Marcelo.

A mi amigo Dario.

A profesores y alumnos que me enseñan día a día.

Resumen

En esta tesis se detallan los principales aspectos necesarios para realizar la construcción de un equipo de robots colaborativos.

Se realiza una puesta al día de los diferentes tipos de robot, sensores, actuadores y consideraciones a tener en cuenta en el diseño y programación del software control. Se diseña y desarrolla las placas de control, electromecánica y sistema de comunicación por radio enlace.

Se plantea como eje del mismo la factibilidad de construir un conjunto de robots con materiales encontrados en el mercado nacional.

Se realiza una comparación de los principales robots en el mercado nacional y posibles alternativas importadas (costos y capacidades) .

Abstract

This thesis details the key aspects necessary for building a collaborative team of robots.

It performs an update of the different types of robots, sensors, actuators and considerations to take into account in the design and control software programming. It designs and develops control plates, electrical and radio communication system link.

This raises the same axis as the feasibility of constructing a set of robots with materials found in the domestic market.

A comparison is made of the main robots in the domestic and imported alternatives (costs and capacities).

Agradecimientos

A la Facultad de Tecnología Informática de la Universidad Abierta Interamericana por permitirme realizar mis estudios de Magister.

Al Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática por brindarme el apoyo , el material técnico necesario y sus instalaciones tanto en la realización de la investigación como en la publicación y difusión de la misma.

A el Dr. Marcelo De Vincenzi por guiarme en la realización del presente trabajo, en un terreno con muy poca difusión en nuestro país. Y por confiar que era posible la realización del mismo.

A la profesora Dra. Zulma Cataldi por su guía en los aspectos metodológicos, científicos y las revisión del presente trabajo.

Al Lic. Dario Miranda por leer, corregir y asesorar en aspectos semánticos y de claridad del trabajo, por tantas horas dedicadas a la consulta y por su incentivo permanente.

A mi esposa Mercedes por apoyar tantas horas invertidas en investigación y desarrollo y a mis hijos Franco y Berenice por realizar las pruebas de crash test de los robots.

Índice de contenido

1 Introducción	1
1.1 Objetivo de la Tesis:.....	3
1.2 Contribuciones Principales.....	4
1.3 Estructura General de la Tesis.....	4
2 Robot Autónomos.....	3
2.1 Generalidades.....	3
2.2 Robots de investigación	3
2.3 Robots teledirigidos y autónomos.....	4
2.4 El Entorno.....	5
2.4.1 Definición.....	5
2.4.2 El medio.....	5
2.4.3 Terrestres.....	6
2.4.4 Acuáticos o submarinos.....	7
2.4.5 Aéreos.....	8
2.4.6 Espaciales.....	9
2.5 Control del entorno de trabajo.....	10
2.5.1 Normales.....	10
2.5.2 Controlados.....	10
2.5.3 Extremos.....	10
2.5.4 El medio ideal.....	11
2.6 Sensores.....	11
2.6.1 Definición.....	11
2.6.2 Visión.....	12
2.6.3 Visión simple.....	14
2.6.4 Audición.....	15
2.6.4.1 Sonares.....	15
2.6.4.2 Reconocimiento acústico.....	16
2.6.5 Táctiles.....	16
2.6.6 Temperatura.....	17
2.6.7 Velocidad y desplazamiento.....	17
2.6.8 Tensión eléctrica.....	18
2.6.9 Posicionamiento.....	19
2.6.10 Enlace de comunicación inalámbrico	19
2.7 Inteligencia.....	21
2.7.1 Definición.....	21
2.7.2 Tipos de robot autónomos.....	21
3 Una aplicación en fútbol robot.....	21
3.1 Características Del Entorno Elegido.....	21
3.2 Campo de juego.....	22
3.3 Robots.....	23
3.4 Descripción el juego.....	24
4 Robot y Kits en el Mercado Nacional.....	25
4.1 CheBot V2.....	25
4.2 Robot N10.....	27
4.3 Blockitronic.....	28
4.4 Lego Mindstorms NTX.....	31

5 Modelo de control de robots.....	33
5.1 Modelos de Control	33
5.2 Reconocimiento de imágenes.....	34
5.3 Bases para el desarrollo del algoritmo.....	35
5.4 Definición De Las Tareas a realizar por el Sistema.....	36
5.4.1 Sistema de locomoción	37
5.4.2 Sistema de alimentación.....	37
5.4.3 Sistemas de sensores	38
5.5 Tareas a realizar en controlador central.....	38
5.5.1 Sistema de comunicación	38
5.5.2 Sistema de Visión.....	38
5.5.3 Sistema de Control	38
5.6 Objetivos del software.....	39
5.6.1 Control de Robot.....	39
5.6.2 Estrategia.....	39
5.6.3 Otros.....	39
6 Diseño de la investigación	40
6.1 Hipótesis.....	40
6.2 Tareas a realizar.....	40
6.3 Diseño de la solución.....	41
7 Construcción de los robots	42
7.1 Diseño	42
7.1.1 Plan de trabajo.....	42
7.1.2 Baterías.....	43
7.1.3 Motor.....	46
7.1.4 Locomoción.....	48
7.1.5 Controlador.....	48
7.1.6 Fuente de alimentación regulada de 3,3V.....	49
7.1.7 unidad de procesamiento central.....	50
7.1.8 Driver de potencia.....	51
7.1.9 Comunicación.....	52
7.1.10 Protocolo de comunicación	54
7.1.11 Trama	54
7.2 Los robots.....	56
7.2.1 Robot de fútbol V1.....	56
7.2.2 Robot de fútbol V2.....	56
8 Desarrollo del hardware y software.....	59
8.1 Especificaciones técnicas del hardware.....	59
8.2 Programador de microcontroladores pic.....	59
8.3 Especificaciones técnicas del software utilizado.....	60
8.3.1 El Compilador	60
8.3.2 MikroBasic V5.0.2 [MikroBasic,2009].....	60
8.3.3 CCS PCWH Compiler [CCS PCWH].....	61
8.3.4 MPLAB [MPLAB,2009].....	61
8.3.5 WinPic800 (licencia gratuita) [WINPIC800, 2009].....	62
8.3.6 Placas electrónicas.....	63
8.3.6.1 ExpressSCH	63
8.3.6.2 ExpressPCB.....	64
8.4 Programa embebido.....	65
8.4.1 Controlador del robot.....	65
8.4.1.1 Modelo algorítmico del sistema.....	65

8.4.1.2 Rutinas de inicialización.....	66
8.4.1.3 Rutinas de gestión de comunicaciones.....	67
8.4.1.4 Rutinas de control.....	67
8.4.2 Programa de testeo autónomo.....	68
8.4.2.1 Diagrama simplificado de estados.....	69
8.4.3 Programa de interface con la computadora	69
8.4.4 Programas en la computadora.....	71
8.4.4.1 Programa testeo remoto	71
8.4.5 Sistema de reconocimiento de imágenes.....	72
9 Análisis y pruebas finales.....	73
9.1 Relevamiento mercado nacional.....	73
9.2 Se presenta el análisis comparativo de los robots.....	74
9.3 Robot de Fútbol V2.....	75
9.4 Pruebas con modo autónomo.....	76
9.5 Pruebas con modo teledirigido.....	76
9.6 Pruebas y participación en eventos.....	77
10 Validación de las hipótesis propuestas.....	78
10.1 Validación	78
11 Conclusiones.....	79
12 Anexos.....	83
12.1 Plan de trabajo.....	83
12.2 Anexo Exposiciones y Congresos	100
12.2.1 AADECA2006.....	100
12.2.2 CIITI 2006 – Buenos Aires.....	101
12.2.3 CAFR 2006.....	103

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Robot Rover (NASA)	4
Ilustración 2: Robot Pathfinder (NASA)	4
Ilustración 3: Robot RV-MV1 (Mitsubishi)	5
Ilustración 4: Tipos de entornos	6
Ilustración 5: Robot Honda	7
Ilustración 6: Robot Snakebot (NASA)	7
Ilustración 7: Robot ACFR	8
Ilustración 8: Robot Solar (Aerovironment)	8
Ilustración 9: Sonda Espacial Mars Express (ESA)	9
Ilustración 10: Robot Dante II (NASA)	11
Ilustración 11: Robot CHEBOT (UBA)	12
Ilustración 12: Robot Marvin (Technische Universitat München)	14
Ilustración 13: Robot Khepera UBA	15
Ilustración 14: Robot rastreador Emerita	15
Ilustración 15: Robot con sonares frontales y cámara.	15
Ilustración 16: Robot con 6 sonares (O.T.R.I)	15
Ilustración 17: Robot Charly 1 (NeoRobotic)	18
Ilustración 18: Entorno en el cual se realizan las competencias	23
Ilustración 19: Campeonato de la FIRA 2003 realizado en Austria	23
Ilustración 20: Robot CheBot V1	26
Ilustración 21: Robot N10 (XIOR)	28
Ilustración 22: Blockitronic (Kit completo con conexión a PC)	30
Ilustración 23: NTX Lego	32
Ilustración 24: Equipo de robots categoría F180	44
Ilustración 25: Pilas AA – NiMh	45
Ilustración 26: Pack Batería Lithium	45
Ilustración 27: Batería Gel 12V	46
Ilustración 28: Motor MR6	48
Ilustración 29: Prototipo Robot Fútbol V1	49
Ilustración 30: Esquema básico del controlador del robot	50
Ilustración 31: Prototipo robot Seguidor de Objetos (con cable)	50
Ilustración 32: Circuito básico fuente regulada	51

Ilustración 33: Circuito de modulo de control	52
Ilustración 34: Circuito de potencia	53
Ilustración 35: Circuito interface RS232 para PC	53
Ilustración 36: Módulos de RF	54
Ilustración 37: Modelo básico de comunicación	55
Ilustración 38: Comandos por ruedas	56
Ilustración 39: Protocolo trama completa.	56
Ilustración 40: Robot de fútbol V1	57
Ilustración 41: Robot de fútbol V2	58
Ilustración 42: : Vista del interior con sus principales módulos	58
Ilustración 43: Vista con señalización de los motores	59
Ilustración 44: Mikro Basic V5.0.2	61
Ilustración 45: CCS PCWH Compiler	62
Ilustración 46: MPLAB Software para del programador de PICs	63
Ilustración 47: Winpic8000 Grabador	63
Ilustración 48: ExpressSCH (esquemático circuito electrónico)	64
Ilustración 49: ExpressPCB (máscara del circuito impreso)	65
Ilustración 50: Modelo algorítmico del sistema	66
Ilustración 51: Giro Derecha	69
Ilustración 52: Diagrama básico de estados	69
Ilustración 53: Diagrama simplificado de estados	70
Ilustración 54: Esquema de enlace RF	71
Ilustración 55: Diagrama simplificado de estados del enlace RF	71
Ilustración 56: Programa de control	72
Ilustración 57: Esquema simplificado programa teleoperación	72
Ilustración 58: AADECA 2006	100
Ilustración 59: AADECA 2006 - Stand	101
Ilustración 60: CIITI 2006 Stand	102
Ilustración 61: Equipo Fútbol V2	102
Ilustración 62: Robots V2	103
Ilustración 63: Conferencia CIITI 2006	103
Ilustración 64: CAETI vs Roberto Art - CAFR 2006	104
Ilustración 65: Gol de la victoria	104
Ilustración 66: Entrega de premios	105

Ilustración 67: Robot fútbol V1	105
Ilustración 68: Varios robot desarrollos propios	106
Ilustración 69: Primer prototipo robot Fútbol V1 con driver por relays.	106

1 Introducción

A fines de la década del '80 y principios de los '90 INTEL se perfilaba como la industria de microprocesadores por excelencia. Su producto Pentium crecía en el mercado y parecía que nada podía pararlo, en lo que a ordenadores domésticos se refería. Con los alemanes fuera de mercado y Motorola dedicándose a telefonía, todo quedaba para INTEL. Pero apareció la competencia cuando menos lo esperaban. Las flamantes AMD y su serie de procesadores K, se surgieron como productos buenos y económico. Cuando le preguntaron a un ingeniero de AMD como lo habían logrado contestó, "eliminando todo lo que estaba de adorno".

El presente trabajo se basa en la economía de recursos y la posibilidad de abaratar el producto final en los robots autónomos. La sencillez y bajo costo permite el acceso a un mayor número de usuarios.

No solo el hecho de que los robots puedan ser manufacturados con materiales reciclados, sino que pueden ser programados con software de costos medios o gratuitos en algunos casos.

También se apunta a la especificidad del robot. Como prototipo se presenta un robot jugador de fútbol. Se pensó en la solidez sin descuidar la línea. En el texto se citan problemas de otros aparatos, que fallaron al girar por ejemplo, y que son corregibles con soluciones sencillas.

Lo expuesto es posible, y además ha sido probado. Se ofrecen distintas versiones de robots, que demuestran que la teoría ya ha sido puesta en práctica.

El diseño y fabricación de robots consta de dos grupos principales de problemas a resolver, de hardware y de software. A nivel hardware será necesario contar con robots de características particulares, capaces de funcionar como herramientas para el desarrollo del software. El alto costo de los mismos y su difícil acceso fueron los principales motivadores del presente trabajo. En el momento de iniciar esta tesis no existían alternativas validas en el país, y la importación como segunda alternativa era poco válida debido al alto costo por los impuestos y la carencia de soporte a nivel nacional. Actualmente es posible encontrar algunos kits a nivel nacional, pero siguen teniendo un precio elevado o no reúnen las características necesarias para el tipo de investigación educativa. Por lo tanto el *primer objetivo* será desarrollar un grupo de robots como herramientas

de base sobre la cual se implementarán las primeras aproximaciones al software de control cooperativo.

Los principales problemas en el diseño de robots autónomos son: la velocidad de procesamiento, la complejidad de los algoritmos capaces de tomar decisiones en tiempo real , y la comunicación entre robots.

Este trabajo comienza con una introducción a los conocimientos de robótica necesarios para comprender la problemática y familiarizarse con el lenguaje, al mismo tiempo que se brinda un panorama actual de la robótica en el mundo.

El trabajo *se centra en la construcción* de cuatro robots, crear su software de control y sentar las bases necesarias para implementar el algoritmo de control por realimentación visual como núcleo de proceso totalmente autónomo del grupo de robots, e integrarlos con un sistema de navegación cooperativa en fútbol de robot.

Se resumieron algunos aspectos importantes a considerar en la arquitectura de robots móviles, con el fin de suministrar una idea clara de esta complejidad. Entre ellos se enuncian: sensores, mecanismos de desplazamiento, formulación de trayectorias por métodos de cálculos trigonométricos mediante arcos y rectas [Byoung-Ju et al.,1999]evasión de obstáculos [PathFinder y Rovers,1997], el entorno, la conformación de estrategias de juego, aprendizaje, identificación de objetos, y validación de reglas entre otras cuestiones, que en algunos casos escapa al contenido del presente trabajo por ello se los enunciará brevemente, dando referencia al material ampliatorio para quien desee profundizar esos aspectos. Se incluye una puesta al día sobre los principales tipos de robots móviles, sus características y las técnicas actualmente utilizadas para su control.

1.1 Objetivo de la Tesis:

El **objetivo general** de la tesis es:

- Crear un grupo de robots capaces de satisfacer a los requerimientos para la investigación con el menor costo posible utilizando materiales del mercado local.

Los **objetivos específicos** son:

- Realizar una puesta al día sobre robots y su tecnología.
- Identificar los principales aspectos en la fabricación de robots.
- Desarrollar un método para la fabricación de robots.
- Desarrollar un sistema electrónico para el control de los robots
- Desarrollar un sistema electrónico / protocolo de comunicación por radiofrecuencia
- Crear software de control para el grupo de robots.
- Probar que el modelo de fabricación propuesto es capaz de satisfacer los requerimientos de la investigación con el menor costo posible utilizando materiales del mercado local.
- Crear un grupo de robots capaces de satisfacer a los requerimientos para la investigación con el menor costo posible utilizando materiales del mercado local.
- Realizar un breve análisis de los robots en el mercado nacional.

Contrastar estos robots en una competencia con otros robots desarrollados por otras universidades o empresas de robótica.

1.2 Contribuciones Principales

Las **contribuciones principales** de la tesis son:

- La elaboración de una sistematización e identificación de los principales aspectos a tener en cuenta en la construcción de robots.
- La generación de conocimiento y experiencia a nivel local en un área en desarrollo.
- Establecer las pautas para el diseño y fabricación de un grupo de robots autónomos con control centralizado.
- La fijación de las bases para el desarrollo de un software de control para trabajo colaborativo de robots (específicamente para fútbol robot) .

1.3 Estructura General de la Tesis

La tesis esta dividida en 11 capítulos y 1 anexo

- Capítulo 2, **Robots Autónomos**, se realiza una puesta al día desarrollando los principales conceptos vinculados con, tipos de robots; identificación, control y elección del entorno de trabajo , tipos de sensores , introducción a la inteligencia computacional, definición de robots autónomos.
- Capitulo 3, **Una aplicación en fútbol robot**, se presentan las características del entorno de investigación basado en fútbol de robot, con la descripción del campo de juego, los robots para fútbol, se describe el juego y las ventajas del uso de este entorno para experimentación en robótica colaborativa.
- Capitulo 4, **Robot y Kits en el Mercado Nacional**, se investigan y presentan las alternativas a nivel nacional, costos y principales características.
- Capítulo 5, **Modelo de control de robots**, se exponen alternativas de modelo de control, introducción a reconocimientos de imágenes, se enuncian las bases para el desarrollo de

algoritmos de control colaborativo. Identificación y definición de las tareas a realizar por el sistema de control, objetivos del software.

- Capítulo 6, **Diseño de la investigación**, se presentan las diferentes hipótesis, cronograma de tareas y el diseño de la solución.
- Capítulo 7, **Construcción de los robots**, se presenta el diseño del plan de trabajo, la especificaciones de actuadores / sensores (baterías, motor, locomoción). Se diseña y fabrican los circuitos del controlador principal, protocolo de comunicación, trama de datos. Y se exponen los dos modelos de robots fabricados V1 y V2.
- Capítulo 8, **Desarrollo de hardware y software**, se definen las especificaciones técnicas del software desarrollado tanto a nivel microcontrolador (mikrobasic) como en alto nivel (VB.net o python). Se describen los algoritmos desarrollados divididos en rutinas de inicialización, de comunicaciones y de control. Se realizan los testeos iniciales y se ejemplifica en diagramas de estados.
- Capítulo 9, **Análisis y Prueba finales**, se realiza una comparación entre los robots comprados y los construidos en el presente trabajo. Se enuncian las pruebas realizadas en laboratorio y los resultados obtenidos en la participación en eventos universitarios.
- Capítulo 10, **Validación de la hipótesis propuestas**, se validan las hipótesis con el trabajo realizado a lo largo de la presente tesis.
- Capítulo 11, **Conclusiones**, se elaboran las conclusiones y se delinean futuras líneas de investigación como continuación del presente trabajo.
- **12 Anexos**, se exponen fotografías de los robots, y presentaciones en diferentes congresos del equipo de fútbol robot.

2 Robot Autónomos

2.1 Generalidades

Actualmente el uso de los robots se ha extendido más allá de los entornos industriales, forman parte de nuestra vida diaria. Se interactúa frecuentemente con ellos ya sea en forma consiente o no.

Es de notar un gran incremento en su aceptación como herramienta educativa y de investigación. Su valor didáctico experimental los ha llevado a ámbitos académicos, universitarios, escuelas de enseñanza media, escuelas técnica y hogares.

Existe una gran variedad de robots y máquinas automáticas que simplifican el trabajo diario. Se los encuentran en formas variadas, desde cajeros automáticos, expendedoras de alimentos, lava-autos hasta brazos robots de ensamblaje, pintura o soldadura, presentes en la industria electrónica y automotriz desde hace tiempo.

A modo de introducción se ofrece una clasificación general de los robots, agrupándolos y analizando sus principales características. Se identifica los requerimientos a nivel de diseño de hardware y software necesarios para la fabricar los robots mismos.

2.2 Robots de investigación

Son herramientas para el ensayo de algoritmos, técnicas de inteligencia artificial, métodos de desplazamiento, tecnología en comunicaciones, exploración y nuevos materiales. En muchos casos son utilizados como base para robots con aplicaciones en el mundo cotidiano creados originalmente con fines científicos. Algunos ejemplos son: robots busca minas (basados en robots rastreadores), de exploración espacial como sondas Viking y los muy conocidos Pathfinder que a su vez sirvieron de base tecnológica para la siguiente generación de robots Rovers [PathFinder y Rovers,1997] (ver ilustración 1 y 2) utilizados en las exploraciones marcianas recientes. Si bien su objetivo principal es la exploración espacio planetaria, también lo es el uso y exploración de nueva tecnologías: informática, física, química entre otras integradas dentro de una nueva disciplina llamada robótica. En muchos casos esta exploración repercutirá directamente en nuestra vida diaria en forma de aparatos eléctricos, nuevos materiales o aplicaciones comerciales.



Ilustración 1: Robot Rover (NASA)

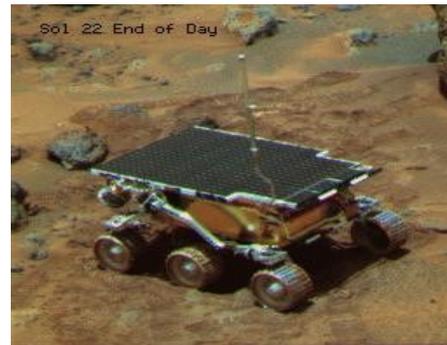


Ilustración 2: Robot Pathfinder (NASA)

2.3 Robots teledirigidos y autónomos

Se define como robots teledirigidos a aquellos que para su funcionamiento necesitan la intervención de un operador humano, ya sea en forma parcial o total. Por ejemplo, los utilizados en la desactivación de explosivos.

Se llaman autónomos a aquellos que son capaces de tomar sus propias decisiones basados en la interpretación del entorno en que se encuentren, sin ningún tipo de intervención humana. Dentro

de esta categoría se analizan principalmente los robots móviles del tipo vehículo, debido que existen numerosos tipos de robots de variadas configuraciones que se encuadran en esta categoría por ejemplo: un brazo robot autónomo (sin asistencia humana) con visión artificial realizando tareas de clasificación de objetos (ver ilustración 3)

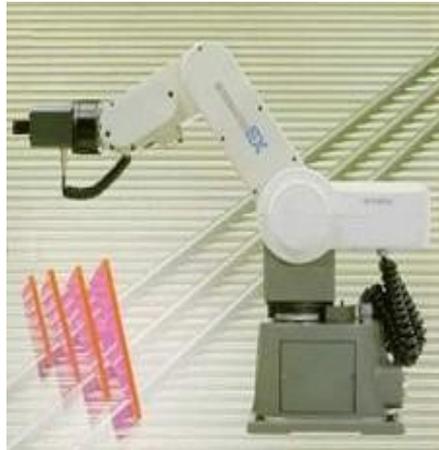


Ilustración 3: Robot RV-MV1 (Mitsubishi)

2.4 El Entorno

2.4.1 Definición

Es el conjunto de elementos externos al robot en el cual debe realizar la tarea encomendada. En una analogía con el mundo natural, es el medio ambiente donde un ser vivo debe desenvolverse.

Entre los componentes del entorno se encuentran: la superficie donde se desplazará el robot que se denomina el medio (agua, tierra, campo de juego), los obstáculos (demarcaciones, piedras, accidente geográficos), variables del entorno (luz, temperatura, viento) y otros robots (propios o contrarios).

2.4.2 El medio

Es posible clasificarlo en cuatro tipos básicos: acuático, terrestre, aéreo y espacial.

Sus características definen los mecanismos que permitirán al robot desplazarse. A su vez en combinación con la tarea a realizar en él, se define el tipo y la cantidad de sensores y actuadores, la potencia necesaria, la complejidad de los algoritmos de toma de decisiones, etc (ver ilustración 4).

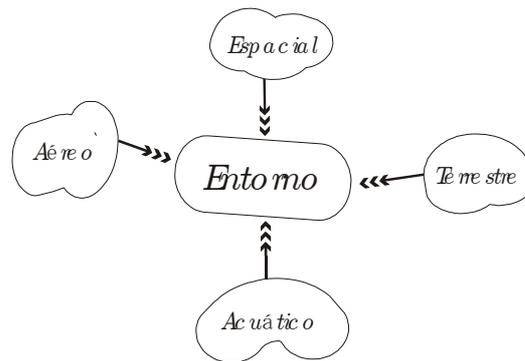


Ilustración 4: Tipos de entornos

2.4.3 Terrestres

Es el entorno familiar para los humanos y permite una implementación de dispositivos adaptados al mismo muy rápidamente. Los robots creados para este entorno son fáciles de construir y se basan en conceptos de mecánica muchas veces ya probados. En muchos casos solo es cuestión de dotar de inteligencia a un vehículo convencional (ruedas).

Ha dado origen a muchas alternativas de desplazamiento que van desde lo convencional a modelos de imitación del mundo animal (serpientes).

Como ejemplo de robot humanoide se encuentra a [ASIMO,2009](ver ilustración 5), que reproduce el desplazamiento bípedo humano, u otros que reproducen el desplazamiento de arañas como los hexápodos de múltiples piernas, rastros que simulan el desplazamiento de serpientes o gusanos como [SnakeBot,2001](ver ilustración 6) desarrollado por el Instituto de Astrobiología de la NASA, y por último los robots ápodos que cambian su forma de acuerdo al medio o tarea a realizar.

Existen otros métodos que no se encuentran en la naturaleza, del tipo oruga como en máquinas excavadoras, o de pistón donde se cuenta con un único pistón ubicado en la parte central del robot, permitiendo el desplazamiento del mismo mediante saltos.

Pero el método más común es la utilización de ruedas. Existen diferentes combinaciones que hacen posible la utilización de las mismas de las que se seleccionaron:

- A) Dos ruedas con tracción independiente: cada rueda es controlada por un motor individual que se controla por separado, esto le permite realizar giros sobre si mismo con solo invertir el sentido de giro de una de las ruedas con respecto a la otra.

B) De cuatro o tres ruedas: donde un par de ruedas se encuentran unidas a un único eje de empuje horizontal controlado por un motor y otro motor controla la dirección. Es el caso de los automóviles convencionales.

C) Omnidireccional: [Keigo , 1998] mediante tres o más ruedas con tracción individual logra desplazarse de manera inmediata en cualquier dirección, siendo más complejo en su construcción y manejo. La dirección está dada por el vector de dirección resultante formado por la suma de los vectores de dirección de cada rueda.



Ilustración 5: Robot Honda



Ilustración 6: Robot Snakebot (NASA)

2.4.4 Acuáticos o submarinos

Las hélices o turbinas son por lejos el método preferido para impulsar robots acuáticos, pero también existen otros que buscan simular el comportamiento de animales acuáticos utilizando aletas, movimientos ondulatorios tipo serpiente, o robot caminantes tipo langostas.

Robot teledirigido sumergible desarrollado por el Australian Centre for Field Robotics The University of Sydney [ACFR] permite mediante una cámara remota realizar tareas de exploración submarina de observación y de recolección de muestras utilizando un conjunto de propulsores basados en hélices (ver ilustración 7).



Ilustración 7: Robot ACFR

2.4.5 Aéreos

Inicialmente pensados para investigaciones militares, pueden tener la forma de aviones de exploración autónomos, cuyo objetivo principal es incursionar en las líneas enemigas sin ser detectados, con el fin de realizar un reconocimiento visual del terreno y del enemigo, aviones de exploración climatológica, globos aerostáticos, dirigibles, helicópteros y también una nueva línea de investigación muy interesante que busca reproducir el aletear de diferentes insectos.

Un ejemplo es el robot aéreo de comunicaciones impulsado por energía solar, desarrollado por la empresa [Aeroenvironment, 2009] en California Funciona de la misma forma que un satélite de comunicaciones recibiendo y retransmitiendo señales de radio, volando a gran altura de forma totalmente autónoma, sin necesidad de recargar de combustible debido a que sus células solares lo impulsan durante el día y un conjunto de baterías por la noche (ver ilustración 8).



Ilustración 8: Robot Solar (Aeroenvironment)

2.4.6 Espaciales

En este tipo se agrupan los robots que navegan en el espacio exterior. Éstos utilizan medios variados de propulsión como ser motores de propulsión nuclear, iónicos, de combustible sólido o mediante cálculos que permiten aprovechar la atracción gravitacional de planetas y lunas.

En muchos casos son sondas de exploración con gran variedad de instrumentos de medición y captura de imágenes.

En esta clase de robots es especialmente necesario contar con un elevado grado de autonomía debido a que cuanto mayor sea la distancia de la tierra se producirán demoras cada vez más grandes en la transmisión y recepción de datos, haciendo muy dificultoso o imposible operarlos de forma teledirigida. Por lo tanto deben poder realizar tareas sin asistencia humana como por ejemplo: controlar su sistema de propulsión, monitorear y/o corregir su trayectoria, realizar mediciones y las otras tareas para las que fueron diseñados.

Como ejemplo se tiene la sonda europea [Mars Express,2009] la cual se encuentra orbitando el planeta rojo que recientemente confirmó la existencia de agua en dicho planeta (ver ilustración 9).

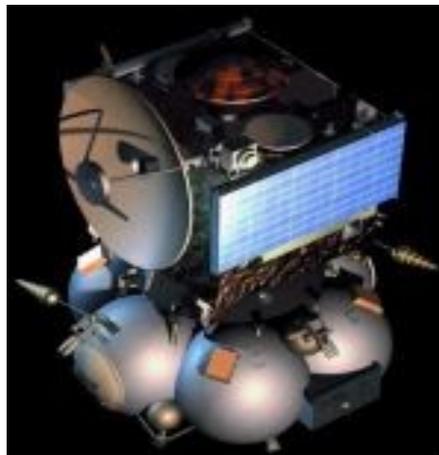


Ilustración 9: Sonda Espacial Mars Express (ESA)

2.5 Control del entorno de trabajo

Se puede dividir el conjunto de variables dentro del entorno de tal manera de poder controlar un conjunto de ellas o su totalidad. Para ello, en primera instancia se hará una clasificación general entre: normales, controlados y extremos.

2.5.1 Normales

Es el entorno natural donde un ser humano realiza su actividad, no es perjudicial para su salud, y las condiciones del entorno pueden variar sin aviso previo. Un ejemplo de esta variación es el clima y la luz ambiente.

Entre este tipo de robot están, los de limpieza, de pintura, soldares, vehículos de transporte público totalmente automatizados (recientemente en investigación), educación y aquellos destinados al esparcimiento, entre otros.

2.5.2 Controlados

Creados por el ser humano, está compuesto por un conjunto de variables definidas específicamente como ser, el terreno, luz, obstáculos, etc. Estas se encuentran acotadas dentro de valores conocidos, dejando solo de ser necesario un cierto margen fuera de control (sin intervención), éstas últimas muy necesarias cuando se requiere un análisis próximo a la realidad.

Como ejemplo se tiene el caso del fútbol de robots. En este entorno ciertas características permanecen estables en el tiempo, mientras otras como los contrincantes o el movimiento de la pelota quedan fuera de control.

2.5.3 Extremos

En este tipo de entorno el medio donde el robot debe operar es realmente hostil, no apto para la vida humana y muy exigente con respecto a las características constructivas del robot.

Como ejemplo, el robot teleoperado “Dante II” desarrollado por la NASA y Carnegie Mellon University [DANTE II] utilizado en la exploración de volcanes y para investigación de nuevas tecnologías robóticas. Gracias a Dante II es posible tomar muestras, imágenes, sensor temperaturas, detectar gases, en lugares inaccesibles para el ser humano, debido a las altas temperaturas y los gases tóxicos presentes (ver ilustración 10).

También en esta categoría se agrupan los robots de exploración submarina profunda, que deben hacer frente a altas presiones y temperaturas extremas, robots de manipulación y mantenimiento de centrales atómicas, robot médicos en zonas contaminadas, entre otros.

En el caso de robots semiautónomos que necesitan de supervisión humana, se pueden citar: los de exploración de alta atmósfera, sondas espaciales, robots de exploración marciana en donde las temperaturas oscilan entre -100 y +100 grados centígrados entre el día y la noche.

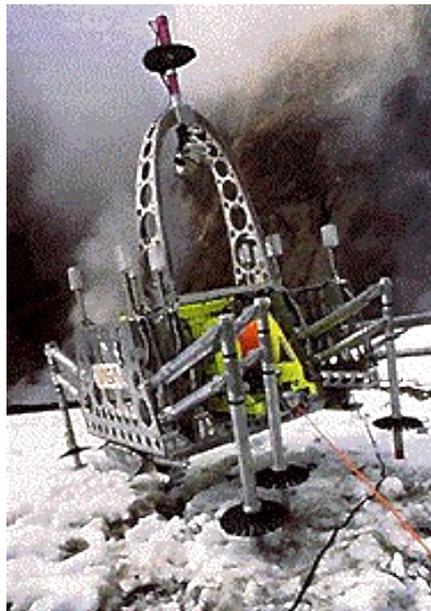


Ilustración 10: Robot Dante II (NASA)

2.5.4 El medio ideal

Tras haber analizado los posibles entornos y tipos de robots. Se han establecido como entorno ideal para esta investigación, el entorno terrestre y controlado; además se eligió un robot con ruedas y propulsión diferencial debido a su simplicidad y prestaciones.

2.6 Sensores

2.6.1 Definición

Es necesario que el robot sea capaz de percibir el entorno donde se encuentra, analizarlo y luego con estos datos realizar un plan de acción. Al aplicar este plan de acción también debe

realimentarse de las variaciones que afecten el entorno y de manera recursiva hacer las correcciones necesarias hasta alcanzar su objetivo. Haciendo una analogía con los seres humanos se los podría llamar el sentido del robot.

Es necesario seleccionar el tipo de sensores a utilizar en la construcción de robots móviles. Mediante un pequeño ejercicio mental se puede pensar en qué sentidos intervienen en el acto de caminar. Se diría sin duda que el de la vista es el principal de ellos, pues permite definir un punto de origen, uno de destino y trazar una trayectoria imaginaria entre ambos, identificar posibles obstáculos, determinar la velocidad y el grado de avance. Otro importante sentido es el del equilibrio, fundamental en robot con patas, sobre todo en los del tipo humanoide. Con el objetivo de simplificar el modelo se usará un robot tipo vehículo de dos ruedas por ejemplo Chebot y Khepera [Mondada et al.,1999]robots desarrollados por la Universidad de Buenos Aires (ver ilustración 11).

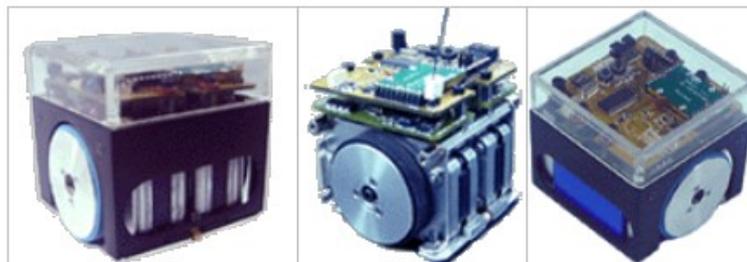


Ilustración 11: Robot CHEBOT (UBA)

2.6.2 Visión

El proceso de digitalización de la imagen se realizará mediante una cámara de video y una placa digitalizadora encargada de transformar la señal de video a formato digital. Una vez transformado a digital puede ser procesado y almacenado por el computador.

Es común pensar que es simple lograr que un robot vea de la misma forma que un humano. En realidad esto es muy cierto en el sentido de captura de imágenes, e incluso puede ser mejorada; sobre todo con los últimos avances en electrónica y video que permiten capturar imágenes en un amplio rango del espectro lumínico, rayos X, infrarrojo, o con amplificadores lumínicos que permiten tomar imágenes con mínimas cantidades de luz, que para el ojo humano equivaldrían a una oscuridad completa.

Su complejidad radica en la dificultad que presenta el análisis de estas imágenes. Cada imagen es traducida en millones de puntos con diferentes intensidades de luz, para luego ser analizados por el software. Para realizar este análisis también debe poder eliminar el ruido en la imagen producto de reflejos, sombras, contrastes, etc.

Una vez que la imagen es depurada se debe separar a los objetos del fondo, identificarlos, diferenciarlos entre sí, determinar si son obstáculos fijos o en movimiento, etc. Esta tarea asume la forma de millones de cálculos que deben ser realizados rápidamente, esto es así porque el robot se encuentra desplazándose mientras controla el sistema de locomoción, definiendo un plan de acción a cada instante con la realimentación visual. Por consiguiente si el robot se demora mucho tiempo en identificar un obstáculo, la acción correctiva para esquivarlo llegaría demasiado tarde y no podría evitarse la colisión con el mismo.

En la práctica es recomendable minimizar la cantidad de datos a analizar. Un método utilizado con frecuencia es disminuir el grado de exactitud de la imagen.

Si no fuera necesario diferenciar colores se puede usar una cámara monocromática o en el caso de usar una cámara color transformar la imagen a niveles de grises, luego aplicando por ejemplo ecuaciones de reconocimiento de bordes identificar formas, para por último compararlas con un conjunto de formas almacenadas y así identificar el objeto.

Una buena idea para determinar distancias y obstáculos es usar dos cámaras paralelas simulando la visión estereoscópica humana, de esta manera por una simple triangulación de cada punto de la imagen tomada por cada cámara, se calcula las diferentes distancias. Este método es el utilizado por el robot Marvin de Technische Universität München [Marvin](ver ilustración 12).

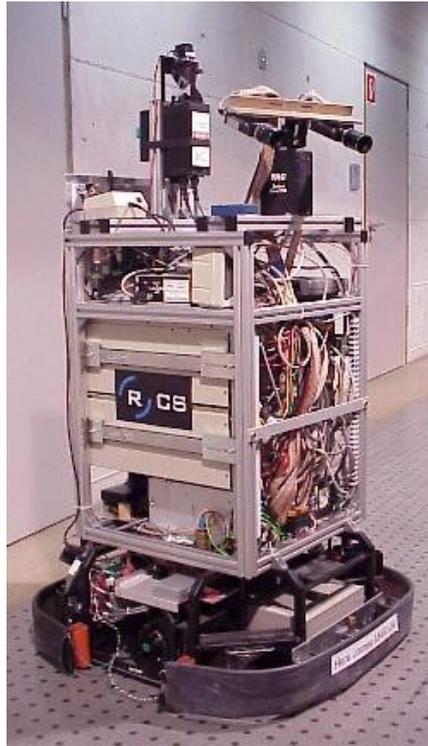


Ilustración 12: Robot Marvin (Technische Universität München)

2.6.3 Visión simple

Existen también sensores simples que se pueden considerar como de visión. Esto son los sensores infrarrojos, los láser, etc. El objetivo de estos sensores no es reconocer un objeto, sino detectar su presencia y en algunos casos hasta calcular la distancia que los separa, son muy útiles cuando se necesita evitar un obstáculo. Esta distancia se obtiene mediante el cálculo del tiempo en que tarda el haz lumínico en rebotar contra el objetivo.

Este tipo de sensores también es muy usado en la detección y seguimiento de líneas, como en las competencias robóticas, donde se debe seguir una trayectoria marcada por una línea de color sobre el suelo, resultando vencedor el robot que logre recorrerla en el menor tiempo posible.

En este caso se sensa la diferencia entre la cantidad de luz reflejada que es proporcional al color de la superficie reflectante. Al variar la intensidad lumínica significa que el sensor está desenfocado con respecto a la línea, entonces corrige la trayectoria hasta obtener nuevamente la intensidad lumínica reflectante que representa la línea. Este tipo de robots es llamado rastreadores [Robot Rastreador, Emérita](ver ilustración 13 y 14).

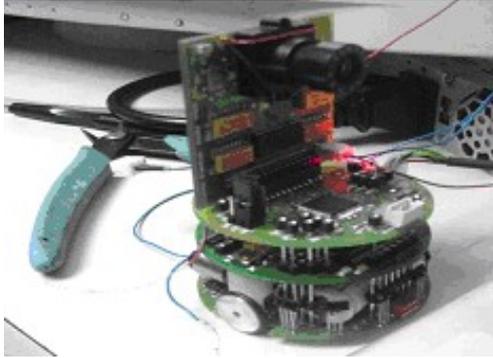


Ilustración 13: Robot Khepera UBA

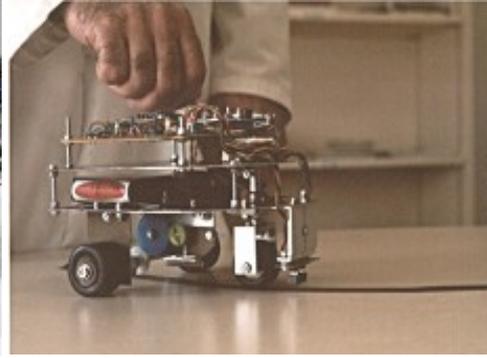


Ilustración 14: Robot rastreador Emerita

2.6.4 Audición

2.6.4.1 Sonares

Reconocen el entorno en base a sensores del tipo ultrasónico u otro medio de captación de sonido. Es un método poco familiar pero bastante utilizado en robótica.

En la naturaleza es utilizado por los murciélagos que al no emplear la visión normal debido a sus hábitos nocturnos, necesitan reemplazarla por un sistema que le permite reconocer su entorno en base al rebote de las ondas sonoras. Estas ondas son de una frecuencia ultrasónica fuera del espectro audible humano, por ello este método es inaudible.

Estos sensores van desde muy complejos tipo radares o sonares que permiten reconocer objetos, hasta los mas simples que cumplen la función de detectar la presencia de objetos [O.T.R.I] y también aquellos para realizar el cálculo de distancias por el mismo método utilizado en los sensores de visión simple por rebote de señal (ver ilustración 15 y 16).



Ilustración 15: Robot con sonares frontales y cámara. Ilustración 16: Robot con 6 sonares (O.T.R.I)

2.6.4.2 Reconocimiento acústico

Mediante un micrófono se realiza la captura del sonido, se transforma a formato digital y se procesa por un programa analizador de señales.

Se puede detectar la proximidad de otros robot, debido al ruido de sus motores, determinar el ruido ambiente (filtrarlo si fuera necesario) y por último permitir el intercambio de información entre robots o con el ser humano.

La transferencia de información se puede lograr mediante un sistema de reconocimiento de órdenes verbales. De forma más sencilla con un método de modulación por tonos, al igual que con los módems telefónicos, donde se necesitá un generador de tonos y un receptor decodificador en cada robot.

2.6.5 Táctiles

Haciendo una analogía con los dedos humanos se puede realizar una clasificación en base a la forma en que perciben (sensen) su entorno:

- A) Sensores de presión del tipo piezoeléctrico: su funcionamiento se basa en traducir la fuerza mecánica ejercida sobre ellos en un potencial eléctrico (por ejemplo, al presionar un objeto con el sensor). Dicho potencial es proporcional a la fuerza ejercida por lo tanto comparándola con una escala de tensión calibrada, se obtiene el valor de la fuerza ejercida (que puede representar, el peso de un objeto, el agarre necesario de una mano robot, etc.). La utilización de los sensores de presión se hace especialmente necesaria en brazos robóticos, donde es necesario ejercer una presión específica sobre los objetos con el fin de no dañarlos. También son útiles en robots bípedos donde es necesario sensar constantemente el peso descargado sobre cada pata para mantener el equilibrio.
- B) Sensores de contacto eléctrico (switch): constan de dos contactos separados por una distancia (llamada X) y al ejercerse presión sobre ellos se los junta mecánicamente produciéndose el contacto eléctrico, entonces comienza a circular una corriente eléctrica que es traducida en un estado lógico Verdadero (1) cuando están cerrados o Falso (0)

cuando están abiertos. Son utilizados generalmente para detectar colisiones contra objetos como por ejemplo paredes, o la presencia de los objetos que se desea manipular.

2.6.6 Temperatura

Son muy útiles a la hora de controlar la temperatura de los motores o si se busca ejecutar determinada acción al llegar a un valor predeterminado.

En un robot, el tener un cooler (enfriador) continuamente funcionando como sistema de refrigeración es muy costoso debido a la energía que éste consume. Entonces la solución es poner en funcionamiento el sistema de refrigeración solo cuando la temperatura alcance su límite superior, desconectándolo cuando alcance el límite mínimo; de esta manera se reduce el consumo de energía racionándolo en forma eficiente.

2.6.7 Velocidad y desplazamiento

Generalmente no se esta conciente de la velocidad y la cantidad de pasos que se dan al moverse de un punto a otro.

En un robot autónomo es muy importante tener una noción exacta de la cantidad de pasos y la velocidad, pues esto permite calcular la distancia recorrida, y administrar eficientemente la energía consumida.

Un método muy utilizado es el del Encoder (contador de pulso). Consta de un emisor y un receptor infrarrojos donde un haz de luz debe atravesar una rueda dentada solidaria con el eje del motor o las ruedas. Al interrumpirse el haz IR(infrarrojo) se cuenta un pulso por cada ranura, una vuelta completa de la rueda tendrá tantos pulsos como ranuras. Conociendo la cantidad de pulsos y la distancia entre las ranuras se puede calcular la distancia recorrida y si se considera el tiempo empleado se obtendrá la velocidad.

Este método es usado para controlar motores de corriente continua, y es similar al utilizado en el sensado de la posición del mouse de la computadora personal.

Esto se puede ver en la foto del sistema de motores del robot “Charly1”¹, donde se usan motores de corriente continua sensados por un optoacoplador tipo encoder [Balich, 2004b](ver ilustración 17).

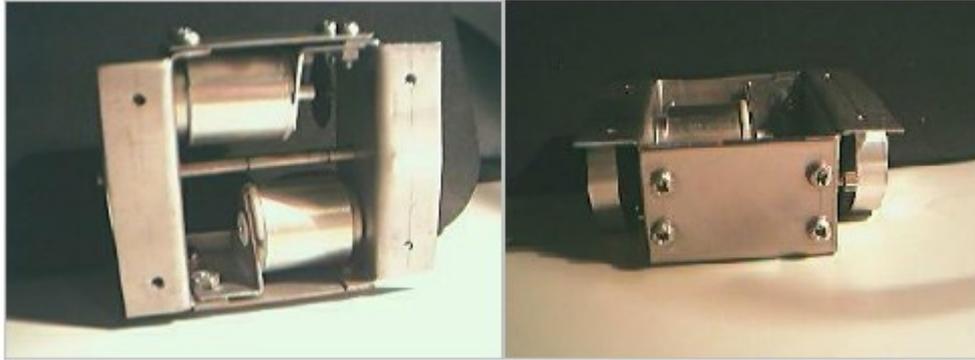


Ilustración 17: Robot Charly 1 (NeoRobotic)

Otra alternativa es usar motores paso a paso en donde la distancia y velocidad están dadas por la señal que se usa para comandarlos, pudiéndose de igual manera lograr una realimentación con el método anterior. El alto costo y la dificultad de encontrarlos en el mercado local lo hacen menos elegible.

2.6.8 Tensión eléctrica

Al igual que los humanos necesitan ingerir alimentos para restablecer su reserva de energía y racionarla de acuerdo a su actividad física, es conveniente que un robot pueda administrarla de igual manera. Esto se logra usando sensores de tensión que transforman el voltaje sentido en un valor digital. Un ejemplo práctico es el robot Rover de exploración marciana. Este opera normalmente consumiendo sus reservas de energía hasta que el voltaje de sus baterías desciende a un límite de seguridad establecido, en cuyo caso pasa a modo carga a través de sus células solares, cuando alcanza el límite de carga completa vuelve a estar operacional.

¹ “Charly 1” es un robot desarrollado como primer prototipo de investigación para el presente trabajo.

2.6.9 Posicionamiento

Son sensores de orientación que permiten ubicarse geográficamente al igual que lo hace una brújula en función de los polos magnéticos.

Dentro de esta categoría se incluyen también los equipos de posicionamiento global (GPS) que nos dan la orientación y la posición (latitud y longitud) del robot en función de la triangulación de tres o más señales provenientes de igual cantidad de satélites.

2.6.10 Enlace de comunicación inalámbrico

El establecimiento de un buen enlace de comunicación entre un robot y su controlador central es un factor crítico, aumentando cuanto mayor sea el grado de dependencia del controlador central. Se debe dotar al robot de la mayor autonomía posible para disminuir esta dependencia del enlace de comunicación.

Por ejemplo si el robot puede sensar los obstáculos en su camino, ubicar el punto destino, calcular su trayectoria y controlar sus motores para llegar a tal punto, el controlador central solo deberá indicarle el punto destino y la orden de arranque.

De esta forma el robot operará de forma autónoma realizando todas las operaciones necesarias para llegar a dicho punto, mientras el controlador central monitorea su funcionamiento y de ser necesario transmitirá una orden de corrección que en el caso de un explorador marciano tardará 10 minutos en llegar desde la tierra.

Normalmente se utilizan métodos de transmisión por radio frecuencia, donde la información es modulada sobre una señal portadora que es transmitida por el emisor (computador central) que luego es captada por el receptor (robot), decodificada con el fin de interpretar los datos enviados.

Esto implica utilizar un protocolo de transmisión de datos que garantice la transmisión de información y la recepción correcta de la misma. El método más simple es el “checksum” que en términos sencillos, representa un valor que es dado por la suma de los valores binarios (Código ASCII) de los caracteres enviados, al ser decodificados en el receptor es calculado nuevamente y comparado con el enviado por el emisor, si no coincidieran significa que la información recibida no es correcta.

Este tipo de protocolo también puede utilizarse con otros medios de transmisión como ser ondas sonoras, donde mediante codificación por tonos, al igual que en los módem. Se logra transmitir la información. El inconveniente con este método es que no se pueden cubrir grandes distancias y que es muy sensible al ruido ambiente.

Otra forma sería por un enlace óptico mediante un haz infrarrojo o láser, pero no solo existe el problema de la distancia que se debe cubrir, sino también que es sensible a cualquier objeto que se interpusiera en el haz.

La última alternativa sería un enlace por cable mediante una interface serie del tipo RS232 ¹ o 422 ², de nuevo se encuentra una limitación por la distancia del cable.

Si las características del robot permiten una comunicación permanente por cable, el puerto serie es la alternativa ideal. Esto se debe a su bajo costo, facilidad de implementación y calidad de transmisión. Es muy utilizado en las primeras etapa del desarrollo en prototipos inalámbricos, pues con la aparición de kits comerciales es posible transformar de manera transparente un enlace RS232 por cable a uno inalámbrico del tipo Bluetooth ³ o Wireless 4

¹ RS232 : Protocolo para transmisión de datos por puerto serie.

² 422 : Protocolo de transmisión diseñado para entornos industriales.

³ RS232 :

⁴ 422 : .

2.7 Inteligencia

2.7.1 Definición

Se define inteligencia del robot como el conjunto de hardware y software que le permite procesar, resolver y planificar los pasos necesarios para realizar su tarea en forma autónoma (sin asistencia humana).

2.7.2 Tipos de robot autónomos

- Robots autónomos que llevan montado sobre ellos el hardware necesario para operar (la inteligencia): Está compuesto por la unidad de control de hardware, la unidad de sensado, y la unidad de toma de decisiones encargada de procesar la información y ejecutar los algoritmos de control.
- Robots autónomos distribuidos: Son aquellos que mediante un enlace de comunicación delegan las tareas de sensado y navegación a una unidad central de procesamiento. De esta manera cada robot se articula a modo de tentáculo del computador central, operando en su conjunto como un único sistema autónomo con componentes distribuidos.

En el primer caso la desventaja es que los robots deben ser grandes y pesados, con motores potentes pues deben transportar la unidad de sensado y navegación en muchos casos delegada en un computador. Esto trae como consecuencia un mayor consumo de energía y por consiguiente el aumento del tamaño de las baterías.

En el segundo caso la inteligencia (computador) se encuentra ubicada fuera del robot. Esto permite una disminución en el peso final, al no tener que transportarlo, por ello pueden utilizar baterías más pequeñas, también no tiene límites en cuanto al hardware a utilizar en el controlador central.

La desventaja es que se debe establecer un vínculo de comunicación entre ambos, por ello la velocidad de respuesta dependerá directamente de la velocidad y la calidad del mismo.

La distancia de autonomía del robot estará limitada por la distancia máxima del enlace de comunicación de acuerdo a la tecnología seleccionada: por cable, radiofrecuencia, óptico o sonido.

Particularmente, en ambientes colaborativos donde se debe controlar más de un robot, con el fin de realizar una tarea en común, es necesario contar con un punto central de coordinación de los robots. Sumado a que los robots deben ser lo mas económicos y sencillos de armar, todas estas características hacen conveniente el uso de un modelo centralizado de control.

3 Una aplicación en fútbol robot

3.1 Características Del Entorno Elegido

La idea de “Robots que jugaran Fútbol” fue mencionada por primer vez por el profesor Alan Mackworth (University of British Columbia, Canadá) en el año 1992. Su proyecto se denominó Dynamo y su objetivo fundamental consistía en el desarrollo de un ambiente flexible para experimentos con múltiples robots controlados por radio.

En este marco del proyecto, los robots en forma individual fueron capacitados para armar su plan de acción y llevarlo a cabo, sólo con el simple objetivo de hacer goles en el arco contrario y evitar que la pelota ingrese en el propio. Como experimento se realizaron competencias entre dos robots (uno contra uno) [Amandi, 2001].

En la actualidad la idea inicial ha evolucionado en varias ligas de competencias internacionales (FIRA ¹, ROBOCUP ²) y en una competencia a nivel nacional el CAFR2004 ³ (Campeonato Argentino de Fútbol de Robots) [CAFR,2004] organizados por varias universidades argentinas. En estos campeonatos se encuentra principalmente dos divisiones: simuladas y reales.

- Ambientes simulados: es una herramienta de software desarrollada por la FIRA [RobotSot,2005] que permite ensayar metodologías y algoritmos de control en un grupo de robots virtuales.
- Robot reales: participan en general uno o más robots por equipo, y pueden ser totalmente autónomos o con un modelo centralizado de control, basado en el modelo virtual.

FIRA ¹ : Federación Internacional de Fútbol Robot (Agrupa China y Europa)

ROBOCUP ² Copa Internacional Fútbol Robot (Agrupa EEUU y Japón)

CAFR2004 ³ Campeonato Argentino de Fútbol Robot (Agrupa Universidades Nacionales y Aficionados a Robótica)

Las reglas básicas del juego son tomadas de las competencias de fútbol real con algunas adaptaciones.

El objetivo del equipo es concretar la mayor cantidad de goles mientras se trata bloquear al otro equipo. Esto adquiere una mayor complejidad al tener en cuenta las reglas del juego, que deben ser consideradas en cada instante por los robots.

3.2 Campo de juego

Está compuesto por un rectángulo de madera color negro de 220cm x 180cm delimitado por paredes de color blanco de 5cm de altura por 2,5cm de espesor. La parte superior de las paredes debe ser de color negro. Se deben colocar triángulos isósceles en las esquinas de la cancha para evitar que la pelota quede atascada. La textura de la cancha debe ser similar a la de una cancha de ping pong.

Dentro de este campo se encuentran delimitadas las diferentes áreas de una cancha de fútbol convencional, es decir círculo central, la línea del medio campo, las áreas chicas y grandes de los arcos y la posición de los robots (ver ilustración 18).

Las condiciones de iluminación en el recinto de la competencia se debe fijar en aproximadamente 1.000 lux. Y por último se utiliza una pelota de golf naranja.

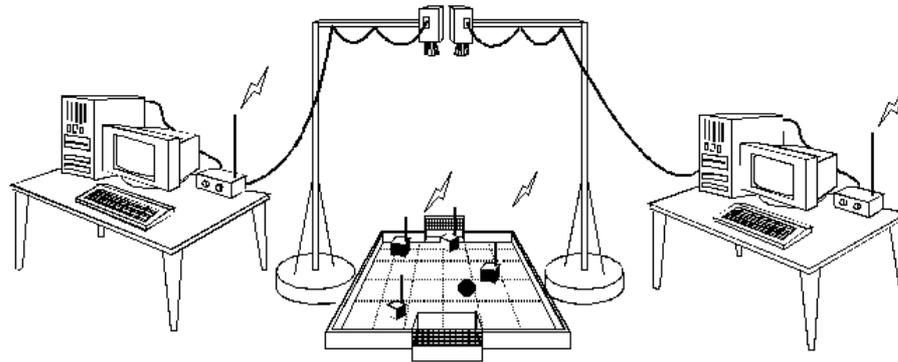


Ilustración 18: Entorno en el cual se realizan las competencias

3.3 Robots

Los robots varían según la categoría en la que participan, siendo éstas definidas por la FIRA [RobotSot,2005].

Otra categoría es MiroSot en la que el tamaño de los robots es de 7,5 cm x 7,5 cm de ancho y 7,5 cm altura, dándose libertad en el tipo de tracción utilizada y son teledirigidos por un computador central encargado también de realizar la digitalización de imágenes (ver ilustración 19).

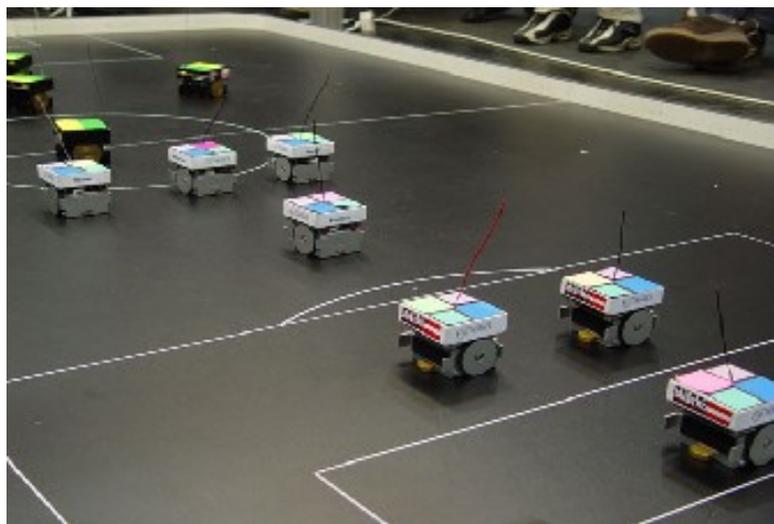


Ilustración 19: Campeonato de la FIRA 2003 realizado en Austria

3.4 Descripción el juego

Un partido consta de dos períodos de 5 minutos cada uno, con un intervalo entre ambos de 10 minutos. Un cronometrista oficial detiene el reloj cuando se realizan las sustituciones, cuando se debe retirar de la cancha un robot por averías, durante los tiempos muertos o ante otras situaciones en que se considere necesario.

Después del intervalo (medio tiempo) un equipo puede pedir 5 minutos adicionales luego de lo cual sino pudiera continuar, el equipo es descalificado.

Cada equipo es identificado con un color (Azul o Amarillo).

4 Robot y Kits en el Mercado Nacional

4.1 CheBot V2

Se analizan las opciones de robots y kits constructivos de robots que se pueden encontrar en Argentina tanto de fabricación nacional como importado, de los cuales se citan las principales características y ventajas de los mismos. Para la realización de las pruebas se conseguirá acceso a los robots o se procederá a su compra.

La Universidad de Buenos Aires (Cs. Exactas) en 2002 compra 10 robots de la empresa Coreana [Yujin-Robot,2009] para fútbol de robot. En base a esa experiencia en 2003 desarrollan y construyen 8 Chebot V1 [Santos et al.,2003], un robot de fútbol nacional con la característica de tener dos motores paso a paso con control de velocidad por steppen y para 2004 desarrollan el CheBot V2 siendo la última versión fabricada en Argentina, con alguna de las siguientes características:

- Alimentación: Baterías de Litio-Ion 24 volts.
- Motorización: Dos motores paso a paso de 24V.
- Tracción: Diferencial.
- Chasis: Fijo de 75 x 75 mm (categoría Simurosot FIRA).
- Velocidad: Hasta 3 mts por segundo.
- Microprocesador: Dos placas controladoras con Pics de montaje superficial con bus de comunicación propio.
- Enlace por radio: Comunicación full-duplex por FM.
- Costo: \$ 950 por cada robot.

Es un robot de chasis fijo, no puede modificarse su forma y está adaptado a las regulaciones de FIRA (Federación Internacional de Fútbol Robot). Es un robot de avanzada diseñado para experimentación en universidades. Su costo es elevado pero esto se debe a la alta tecnología empleada y los materiales como ser, aluminio de aviación, baterías de litio, placas de doble faz y montaje superficial. (ver ilustración 20)



Ilustración 20: Robot CheBot V1

4.2 Robot N10

La empresa XIOR una empresa nacional fundada en 2003 por tres estudiantes recién recibidos (de Ing. Electrónica, Ing. Diseño Industrial y Lic, Psicología), desarrollaron un kit modular de robótica (Múltiplo) que permite armar robots con piezas estándar al estilo del mecano. Aprovechando la brecha del mercado entre universidades y robots industriales, apuntando principalmente al extranjero. El N10 es la primer configuración de robot realizada con el kit final en 2004 y posee las siguientes características Xior [Schmit et al.,2004]:

- Alimentación: Dos packs de baterías de Litio-Ion 7,8 volts de 900 mAmp.
- Motorización: Dos motores CC de 12V de 200 rpm
- Tracción: Diferencial
- Tamaño: 130 mm de largo, 130 mm de ancho y 90 de alto
- Chasis: Armable en base a las posibilidades del Kit
- Velocidad: 0,5 metros por segundo
- Realimentación: Enconder para sensado de ruedas
- Microprocesador: Placa controladora basada en el micro AVR ATmega8
- Entradas/Salidas: 4 entradas analógicas de 10 bits de resolución. También pueden ser programadas como salidas digitales (de 20 mA) o como entradas digitales con pull-up configurables por software.
- Salidas: 4 motores de corriente continua de hasta 600 mA(picos no repetitivos de 1,2Amp). Preparadas para manejar hasta 2 motores paso a paso u 8 cargas inductivas individuales (relés, por ejemplo).
- Comunicación con la PC: RS-232 de hasta 115 Kbd.
- Otros: Bus 2WI estándar para conectar otras placas en paralelo y otros dispositivos (sensores especiales, etc.).

- Enlace por radio: no posee
- Costo: U\$ 750 por cada robot

Al igual que el Chebot se construyó con materiales avanzada , procesos de fresado CNC y placas controladoras doble faz. Al ser un kit constructivo brinda libertad en cuanto al ensamblaje de los robots. Su costo es elevado debido principalmente a los materiales y el mecanizado de las piezas, el software es bastante completo, siendo un conjunto de herramientas de libre acceso en Internet. Algunas piezas y el eje de los motores son poco fuertes, lo cual hace que ante un golpe brusco se doblen o se partan según el caso. En el 2006 se ha empezado a comercializar en Argentina pero su objetivo sigue siendo principalmente el exterior como en 2004 y 2005 (ver ilustración 21).

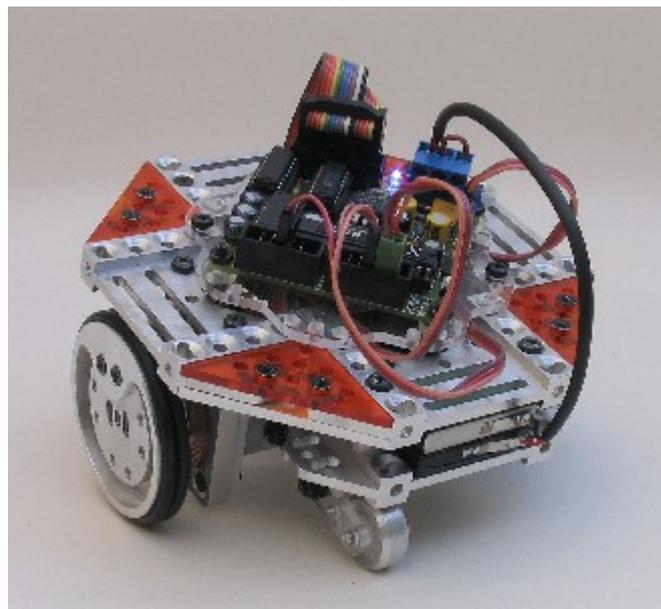


Ilustración 21: Robot N10 (XIOR)

4.3 Blockitronic

En 2006 la empresa Dimare S.A. lanza en Argentina el kit [BlockyTronic,2009] de fabricación nacional, que consiste en un controlador con dos motores y un conjunto de sensores que se adiciona un juego de bloques plásticos para armar, dándole la funcionalidad de programar el movimiento del robot desde una computadora personal. Posee las siguientes características:

- Alimentación: Dos 4 Pilas AAA.
- Motorización: Dos motores CC de 6V con reducción por engranaje.
- Tracción: Diferencial.
- Tamaño: Configurable.
- Chasis: Configurable en base a las posibilidades del Kit.
- Velocidad: no informada.
- Realimentación: 2 sensores de choque tipo bumper.
- Microprocesador: PIC16F628.
- Salidas: Leds, y buzzer.
- Comunicación PC: Serie 232 de un solo sentido de la PC al Kit
- Software: Sencillo con SO propio en el microcontrolador, pensado para chicos de 6 a 12 años.
- Enlace de radio: No posee

Es una ampliación a un kit de bloques constructivos tipo mil ladrillos, que permite agregar movimiento y la capacidad de programación las entradas salidas están restringidas a los componentes proporcionados, no siendo intercambiable ni abierto a la creación de nuevos dispositivos. El acople de los bloques es endeble para construcciones con gran peso. Al estar pensado como juguete se logra un buen compromiso precio calidad para edades de 7 a 12 años (ver ilustración 22).



Ilustración 22: Blockitronic (Kit completo con conexión a PC)

4.4 Lego Mindstorms NTX

La industria dinamarquesa Lego es uno de los precursores en kit de construcción, y de kit de robótica con la primera versión del Mindstroms (ver ilustración 23). Actualmente la nueva versión [Lego NTX,2009] supera ampliamente a las anteriores y esta orientada específicamente al armado de robots y dispositivos programables. Consta de un controlador principal basado en un microprocesador Hitachi, con un visor LCD que permite ver el programa que se está usando, y recibir respuesta del mismo al chequear sensores por ejemplo de luz. Trae integrado un sistema operativo y esta versión agrega conexión bluetooth, sus principales características son:

- Alimentación: Dos 6 Pilas AAA.
- Motorización: tres motores con sensor de rotación.
- Tracción: Configurable.
- Chasis: Configurable en base al controlador central.
- Velocidad: no informada.
- Realimentación: 2 sensores de choque tipo bumpers.
- Microprocesador: no informado.
- Entradas: 4 puertos de entrada
- Sensor de sonido: micrófono
- Sensor de ultrasonido: mide distancia.
- Comunicación PC: bluetooth integrado.
- Software: Sencillo con SO propio en el microcontrolador, herramienta de desarrollo propia.
- Enlace de radio: bluetooth
- Costo: Exterior U\$ 250 en Argentina U\$ 320



Ilustración 23: NTX Lego

5 Modelo de control de robots

5.1 Modelos de Control

Existen dos tipos elementales de modelo de control: el reactivo y el deliberativo según lo expresado por [Laplagne,2002] basado en la definición de [Mataric, M. J]

El control reactivo: es una técnica basada en una asociación estrecha entre los estímulos obtenidos de los sensores, y las acciones disparadas sobre los actuadores. Este tipo de control permite responder de manera muy veloz a entornos cambiantes y sin una estructura definida. Se puede pensar este tipo de control como “estímulo-respuesta”. Este es un método de control muy poderoso, común en los animales que son reactivos mayormente. Las limitaciones de este enfoque son que este tipo de robots, al solo buscar acciones para un estímulo dado, no suelen almacenar información, no tienen memoria, ni representaciones internas del entorno, ni habilidad de aprender con el tiempo.

En el control deliberativo: el robot toma toda la información sensorial disponible y todo el conocimiento que tiene almacenado internamente y razona en base a ellos para crear un plan de acción. Para esto, el robot debe realizar una búsqueda sobre (potencialmente) todos los planes posibles hasta encontrar uno que sea útil. Esto requiere que el robot planee en los términos siguientes “si hago esto, y luego ocurre esto, que pasaría si yo hago entonces esto...” y así sucesivamente.

Eso puede llevar mucho tiempo, razón por la cual si el robot debe reaccionar velozmente, puede no ser práctico.

“El sistema estará diseñado por control centralizado altamente reactivo realimentado visualmente.”

El único componente que se utilizará como medio de sensado es el sistema de reconocimiento de imágenes con visión global, así mismo será el único lazo de realimentación con el robot ya que la comunicación por radio será de un solo sentido (computador -> robots).

De esta manera se hará reproducir el lazo de realimentación que se produce en los seres humanos. Cuando una persona desea alcanzar un objeto dentro de su campo visual, se mueven sus músculos del brazo de tal manera de aproximarse lo mas posible al objeto, con movimientos cada vez más exactos en la medida que se aproxima; no se tiene una noción exacta de la distancia, sino que el cerebro continuamente corrige la posición hasta que logra tomar dicho objeto.

5.2 Reconocimiento de imágenes

Existen diferentes formas de abordar el reconocimiento de imágenes pero como se evidencia en el enfoque dado por el trabajo de [Veloso, Kwub,1998]], el sistema consta de un algoritmo de captura y predicción en base a marcas visuales para un grupo homogéneo de agentes. Se usó un Extended Kalman Filter (EKF), y resulto muy bueno en la detección de la pelota.

El EKF es un estimador recursivo para un sistema no lineal. En este se realizan dos procesos interactivos llamados actualización y propagación.

Para un estado dado se calcula la mejor estimación en la detección de la imagen según las variables elegidas para definir al objeto (alto, ancho, color, etc) y se obtiene el error expresado según la covarianza en cada iteración. Durante la actualización, la observación realizada en el comúnmente es utilizada para refinar la nueva estimación y calcular la covarianza.

Los agentes simples deben poseer la capacidad de navegar por cualquier área del campo, la capacidad de impulsar la pelota en determinada dirección, interceptar la pelota y bloquear a los oponentes sin cometer faltas.

Para poder interceptar la pelota se debe poder predecir el movimiento de la misma partiendo de precondiciones y mediante un comportamiento acorde.

Básicamente, se parte de un estado X con un conjunto de precondiciones establecidas obtenidas de un análisis del entorno y en base a la estrategia o el rol que ha asumido el agente se define el comportamiento necesario para alcanzar su meta.

5.3 Bases para el desarrollo del algoritmo

Al abordar por primera vez el problema de la generación de un algoritmo capaz de resolver las dificultades planteadas en el control de múltiples robot, surge de inmediato la idea de segmentar el problema con el objetivo de simplificarlo, como puede observarse en la tesis realizada [Castelo et al.2002] donde se describen las líneas generales en el diseño del equipo UBASot de la UBA(Fac. Cs. Exactas).

Alternativamente otro enfoque interesante surgido del análisis del trabajo de [Thongchai et al.,2000] es el de emplear técnicas de “fuzzy control”¹ como base para la toma de decisiones.

A la hora de diseñar el software se puede partir de dos enfoques diferentes:

- Diseñarlo con base en el simulador proporcionado por la FIRA que cuenta con varias categorías simuladas en donde compiten dos equipos (programas) entre sí.
- Realizar o adquirir un sistema completo de control con robots reales, cámaras y placas de video (hardware) y desarrollar el software.

En líneas generales la problemática en ambos casos es muy similar. Esto es así porque el modelo simulado fue diseñado expresamente para representar el modelo cinemático de los robots reales y su entorno.

Parece obvia también la necesidad de utilizar técnicas de inteligencia artificial, modelos de agentes, o por lo menos programación orientada a objetos.

¹ “fuzzy control” : Lógica Difusa

Mediante técnicas de inteligencia computacional es posible predecir una mayor cantidad de movimientos, generar bases de conocimiento, deducir la estrategia del oponente, realizar el reconocimiento de imágenes, etc. Esto es muy válido como método de investigación y de hecho es donde se obtendrán los mejores resultados, pero también existen otras formas de resolver este problema, con una aproximación más directa basada en metas.

Al basarse en metas se centraliza todo el desarrollo en la resolución de problemas puntuales y próximos en el tiempo, expresándolo en términos del simulador, a un ciclo de distancia. Un ejemplo es predecir el movimiento de la pelota en la siguiente lectura de datos y actuar en consecuencia.

Quedó demostrado la eficacia de este enfoque en el hecho de ser utilizado por el equipo de software simulado del colegio Schönthal [Silvera et al.,2003] obteniendo el segundo puesto en la categoría SimuroSot Middle League del campeonato mundial de la FIRA 2003.

En síntesis ellos hicieron especial énfasis en el modelo de objetos, la optimización del código, las ecuaciones trigonométricas y una estrategia basada en roles, enmarcada solo en los conocimientos adquiridos por sus alumnos a lo largo del ciclo secundario.

5.4 Definición De Las Tareas a realizar por el Sistema

Hasta aquí se ha analizado los principales aspectos en cuanto a la complejidad del hardware del robot, las tareas a realizar, y los diferentes sistemas utilizados.

Se cuenta ahora con una aproximación de los problemas a resolver por el software (inteligencia) del robot.

Como primer paso se seleccionó un entorno controlado con robots de bajo costo que permitirá investigar sobre los algoritmos de control en sistemas robóticas colaborativos.

El ambiente de fútbol de robot propicia el trabajo colaborativo tanto a nivel robots como a nivel de grupos de investigación multidisciplinarios pudiendo destacar las siguientes ventajas:

1. Un conjunto de reglas similares a las del fútbol con humanos, que permiten una rápida asimilación de las mismas.
2. Un entorno controlado en cuanto a iluminación, terreno, colores y objetos.
3. Un equipo contrario que escapa al control, brindando la aleatoriedad necesaria para evaluar el algoritmo de toma de decisiones y el cálculo de estrategias.
4. Problemas físicos, mecánicos, electrónicos y de visión que hacen necesario un enfoque desde diferentes disciplinas.
5. Predicción de movimientos, toma de decisiones, velocidad de procesamiento, comunicación y trabajo en grupo son algunos de los puntos a resolver mediante algoritmos empleando técnicas de inteligencia artificial.

De ahora en adelante el trabajo se enfoca en un sistema robótico autónomo con inteligencia distribuida diseñado para operar dentro del entorno de fútbol robot.

En este entorno y en base a lo expuesto anteriormente se destaca el siguiente conjunto de tareas a realizar:

5.4.1 Sistema de locomoción

- Controlar el sentido de giro de los motores
- Controlar la velocidad
- Controlar el posicionamiento

5.4.2 Sistema de alimentación

- Controlar el nivel de carga de las baterías

5.4.3 Sistemas de sensores

- Sensor de contacto con la pelota
- Sensor de proximidad de obstáculos
- Sistema de disparo
- Controlar la dirección y el impulso del disparo de la pelota
- Sistema de comunicación
- Protocolo de comunicación inalámbrica o infrarroja.

5.5 Tareas a realizar en controlador central

5.5.1 Sistema de comunicación

- Protocolo de comunicación inalámbrica

5.5.2 Sistema de Visión

- Identificación del objetos y del entorno
- Digitalizar las imágenes del entorno
- Determinar los diferentes actores

5.5.3 Sistema de Control

- Calcular trayectorias de los objetos
- Determinar estrategia utilizada por el adversario
- Determinar el plan de acción más adecuado para contrarrestar al adversario.
- Controlar de reglas de acción

5.6 Objetivos del software

- Analizar e identificar del entorno en base a las imágenes digitalizadas
- Diferenciar objetos del campo de juego, robot, pelota, líneas en el campo de juego (por diferenciación de colores u otro método)

5.6.1 Control de Robot

- Controlar los movimientos de los robots, giro avance, velocidad.
- Controlar acciones especiales como patear pelota.
- Coordinar el equipo de robot.
- Comunicación
- Establecer un enlace de comunicación con los robots.
- Establecer un protocolo con una serie de comando específico para cada Robot.
- Validar la información recibida.

5.6.2 Estrategia

- Establecer una estrategia de juego general.
- Determinar la estrategia del oponente.
- Predecir los movimientos del adversario actuando en consecuencia.
- Asignar roles específicos a cada robot según el análisis del juego

5.6.3 Otros

- Chequeo de las reglas del juego
- Realizar jugadas preparadas
- Chequeo de energía en los robots
- Chequeo del correcto funcionamiento de los robots

6 Diseño de la investigación

Luego de la puesta al día, se han identificado los problemas a resolver y a definir en forma concreta los objetivos, la(s) hipótesis y el diseño de la investigación.

Se plantea un trabajo experimental, donde se diseñaron y fabricaron las herramientas para el mismo (los robots). Luego, se comprobará su funcionamiento correcto.

Con estos robots disponibles se utilizará un sistema de control cooperativo con visión global.

A partir de los objetivos descriptos en la Introducción en la sección 1.1, se derivan las hipótesis de trabajo de 1 a 3 centradas en la generación de tecnología a nivel nacional en la fabricación de robots:

6.1 Hipótesis

- Hipótesis 1: ¿Es posible diseñar y fabricar un grupo de robots autónomos colaborativos con un presupuesto reducido, con componentes encontrados en el mercado Argentino?
- Hipótesis 2: Un sistema de realimentación visual computacional para robot se puede diseñar y desarrollar en base al sistema de realimentación de la visión humana de forma reactiva, permitiendo controlar los robots de manera eficiente.
- Hipótesis 3: El algoritmo de control del grupo de robots autónomos colaborativos se puede delegar mayormente en el sistema de realimentación visual.

6.2 Tareas a realizar

- Análisis del estado del arte en robótica, sus aplicaciones y robots a nivel nacional.
- Identificación de los principales aspectos con que debe contar un robot autónomo en fútbol robot.
- Análisis y exposición de las principales características del entorno de fútbol robot.

- Utilización del entorno de fútbol robot como un ambiente propicio para la investigación en sistemas robóticos colaborativos.
- Fabricación de un grupo de robots capaces de satisfacer a los requerimientos para la investigación con el menor costo posible utilizando materiales del mercado local.

6.3 Diseño de la solución

Se utilizará un diseño experimental para dar una solución en base a la investigación para diseñar y fabricar robots que cumplan con los requisitos propuestos y se contrastara con la hipótesis propuesta.

En una primera etapa se recolectará información sobre robots autónomos, se identificarán las principales característica de diseño necesaria y se investigarEl objetivo general de la tesis es:á en el mercado local que tipos de robot existen, sus principales ventajas y desventajas.

En una segunda etapa se realizará un diseño de uno o más prototipos de robots, para luego crear un grupo de cuatros robots autónomos de fútbol robot.

En una tercera etapa se determinará en base al funcionamiento de los robots, que las hipótesis de trabajo sean correctas.

Por último se pretende participar en un encuentros de fútbol robot con otras universidades.

7 Construcción de los robots

7.1 Diseño

7.1.1 Plan de trabajo

La fabricación de los robots, se realizó tomando como base las necesidades descriptas en los capítulos anteriores. Se describieron algunas de ellas brevemente definiendo los requerimientos para el diseño y construcción de los dispositivos eléctricos, mecánicos y electromecánicos. Actualmente se encuentra la segunda versión de los robots de fútbol a la cual se hace referencia.

Se organizaron las tareas en cuatro grupos:

- Baterías
- Locomoción
- Controlador
- Comunicación

Otras consideraciones de diseño a tener en cuenta en base a la categoría F180 de la Robocup (ver ejemplo en ilustración 24) :

- Restricción de tamaño: el robot debe entrar en un cilindro de 180mm de diámetro por 200 mm de alto.
- No debe tener aristas que dañen a otros robots
- No debe cubrir más del 20% de una pelota estándar de golf.
- La comunicación debe realizarse por un enlace de radiofrecuencia.
- Robustez: El robot debe soportar choques a una velocidad de 5 Km/hr por hora por lo menos.

- Autonomía: Por lo menos debe durar 1 hr. sin necesidad de cambiar baterías.

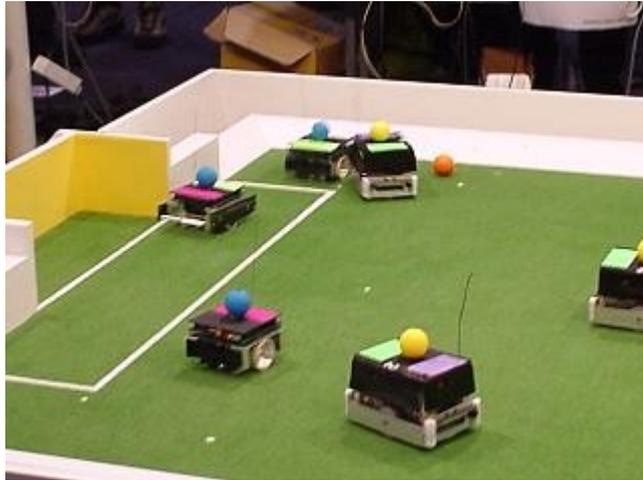


Ilustración 24: Equipo de robots categoría F180

7.1.2 Baterías

Luego de una búsqueda en el mercado local y evaluar diferentes tipos de baterías se seleccionaron baterías de gel 12V debido a la relación costo / potencia. El problema de estas baterías es el gran peso con respecto a otras opciones, esto no condicionó en la elección de la potencia de los motores para el robot.

Se definió una tensión de alimentación de 12V con lo cual se evaluaron tres alternativas:

1) PILAS AA NiMh

Pack de pilas doble A recargables de NiMh (Níquel Metal) (ver ilustración 25) con una entrega de corriente de 2700 mAmp . Estas pilas entregan una tensión 1,2V con un precio de \$10 c/u. Por lo tanto para tener una tensión de 12V necesitamos 10 pilas a un costo de \$100. Se necesita un cargador convencional de costo \$80. Para comparar en las mismas condiciones usaremos una tensión de 14,4V con 12 pilas \$120.



Ilustración 25: Pilas AA – NiMh

2) PACK LITIO-ION

Existe un tipo de baterías muy común en teléfonos celulares o cámaras de video, llamadas comúnmente baterías de Lithium (ver ilustración 26). Son muy livianas se las encuentra comúnmente en packs de 2,8V por celda y una corriente de 2,5 Amp, por ello será necesario solicitar un pack compuesto por cuatro para el primer caso $2,8V \times 5 = 14V$. Estas baterías son costosas ya que cada pack cuesta \$30 aproximadamente, el precio final sería \$ 150. Los cargadores tradicionales existen para pack de 2,8V a 4,2V tienen un costo de \$120, pero será necesario desarrollar uno especial para 14V.



Ilustración 26: Pack Batería Lithium

3) GEL

Otra opción son las baterías de Gel comúnmente utilizadas en alarmas (ver ilustración 27), con un peso y tamaño mayor que las anteriores en su versión más pequeña suministran 12V con una corriente de 1,200 Amp con un costo de \$25.



Ilustración 27: Batería Gel 12V

En la tabla 1 se observan una comprobación de las baterías accesibles en el mercado.

Tipo	Batería Niquel	Metal Litio	Ion Gel Presentación	Pilas AA Comunes
Peso	120 gr	120 gr	530 gr	130 gr
Tamaño	45 x 100 x 4,5	45 x 100 x 4,5	97 x 48 x 50,5	45 x 100 x 4,5
Voltaje Total (Volt)	12	12	14,4	12
Corriente (Amp)	2,5	2,5	1,2	2,6
Costo c/u	\$20,00	\$30,00	\$50,00	-
Unidades	6	6	1	6
Costo Pack	\$120,00	\$180,00	\$35,00	\$25,00
Cargador	\$120,00	\$120,00	\$70,00	No recargables
Costo Total	\$240,00	\$300,00	\$105,00	\$25,00

Tabla 1: Cuadro comparativo entre baterías.

7.1.3 Motor

Se optó por un motor de corriente continua con caja reductora, descartando servomotores debido a la baja velocidad que alcanzan y una complejidad media debido a la señal de comando por frecuencia, también se descartó motores paso a paso debido a su elevado costo, a su peso y la cantidad de líneas de comando por lo menos cuatro para un motor bipolar.

Como primer paso el motor debía funcionar con 12V, entonces se calculó la **velocidad** deseada para el robot, definiendo el **diámetro de las ruedas** las **RPM** (revoluciones por minutos), la **potencia** y por ende el consumo de **corriente** del motor, además de considerar un bajo **costo** del mismo.

- Diámetro de la Rueda: 7cm
- Velocidad Esperada: 3,5 Km/h
- RPM

Con un diámetro de rueda de 7cm se calculó la longitud de la circunferencia, para estimar la distancia recorrida por vuelta.

$$\text{Longitud Circunferencia} = 2 * \pi * \text{radio} = 21,98 \text{ cm}$$

Con una velocidad deseada de 3,5 Km/h nos da:

$$\text{Velocidad mts/min} = 3500\text{m}/60\text{minutos} = 58 \text{ mts/minuto.}$$

Finalmente las revoluciones sobre el motor corresponde a:

$$\text{RPM} = 58 \text{ mts/min} * 100 / 21,98\text{cm} = 263 \text{ RPM}$$

- Potencia

En este caso se seleccionó probando de manera experimental diferentes motores de los que se conseguían con los parámetros anteriores. Se ensayó con los motores de la firma IGNIS los modelos MR6 (6-78) (6-258) (6-330), optando por MR6 (6-258)(ver ilustración 28) con las siguientes características:

- RPM: 258
- Volt: 12V
- Corriente de bloqueo: 1,3 Amp
- Corriente de trabajo: 0,4 Amp
- Cupla de nominal: 0,50 Kg.cm
- Cupla de arranque: 50 Kg.cm



Ilustración 28: Motor MR6

7.1.4 Locomoción

Como se ha justificado en el capítulo anterior se seleccionó un tipo de locomoción basado en tracción diferencial mediante dos motores que controlan directamente cada rueda, y una tercer rueda o bolilla que gira libremente, con la función de servir de punto de apoyo.

En la ilustración 29 se ve un prototipo básico realizado en un programa de diseño, el que sirvió de base para la versión final del Robot Fútbol V1.



Ilustración 29: Prototipo Robot Fútbol V1

7.1.5 Controlador

Se denomina controlador al dispositivo electrónico capaz de controlar las acciones del robot traduciendo los comandos que le son enviados en forma remota desde el computador central. Se puede observar un esquema en bloques del circuito eléctrico en la ilustración 30 y una implementación en un robot controlado por puerto paralelo en la ilustración 31.

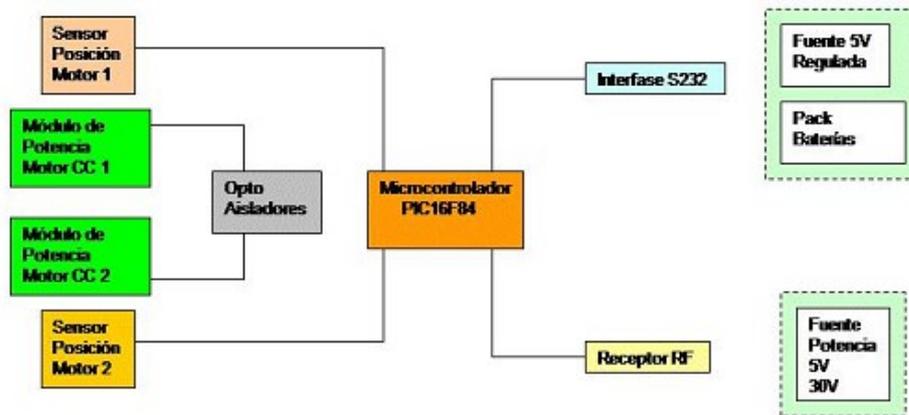


Ilustración 30: Esquema básico del controlador del robot



Ilustración 31: Prototipo robot Seguidor de Objetos (con cable)

Tomando este diseño como base para el robot de fútbol se reemplazan los sensores de posicionamiento, por un sistema de detección de posicionamiento en base a realimentación visual. Y también la fuente externa de 30V por una batería de 12V ya que nuestros robots serán totalmente autónomos.

7.1.6 Fuente de alimentación regulada de 3,3V

Utilizamos un circuito básico para regular y filtrar la tensión de alimentación de entre 12 y 14,8 volts a la tensión de alimentación de la unidad de control basada en el microcontrolador. Como puede verse este circuito está basado en el integrado LM7805 que es un regulador de tensión de 5V a la salida reduciéndola mediante tres diodos a 3,3 V, y una entrada de entre 7,5 Volt a 20 Volt de corriente continua, con una corriente de 1000 mAmp . Se puede observar en la ilustración 32 el circuito desarrollado para la fuente de alimentación del modulo de radiofrecuencia.

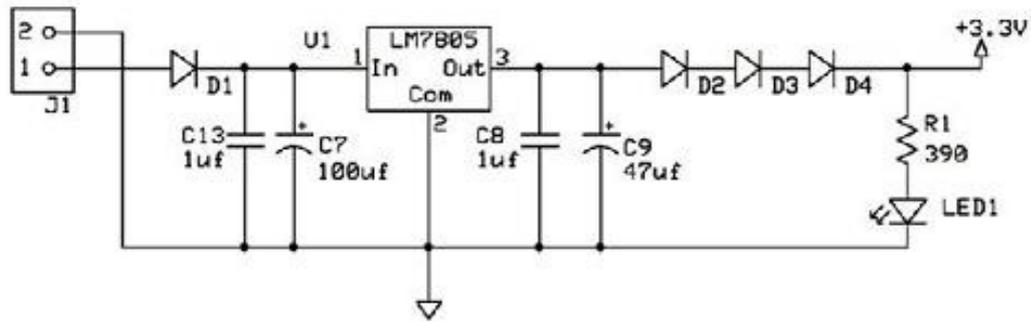


Ilustración 32: Circuito básico fuente regulada

7.1.7 unidad de procesamiento central

Este circuito está basado en un microcontrolador 16F84 de la firma Microchip, que se seleccionó debido a su bajo costo, fácil acceso en el país y documentación accesible referente al uso del mismo. Actualmente es reemplazado por otros micros como el 16F625 o el 16F88 con mayor capacidad de memoria, conversores analógicos digitales entre otras mejoras. Pese a estas diferencias pareció acertado el desarrollo sobre el micro más antiguo debido a que son totalmente compatibles con sus reemplazos.

Este circuito consta de una conexión por puerto serie RS232 para poder conectarlo al computador, para testear el robot o enviar información al computador.

Un módulo de transmisión full-dúplex de dos canales a 2,4 Ghz que describiremos más adelante. Y una conexión al circuito de potencia.

El 16F84 consta de su etapa osciladora con un cristal de 4 Mhz, led de monitoreo de estado, un pulsador de reset y un conjunto de resistencias y condensadores como filtros de ruido eléctrico (ver ilustración 33).

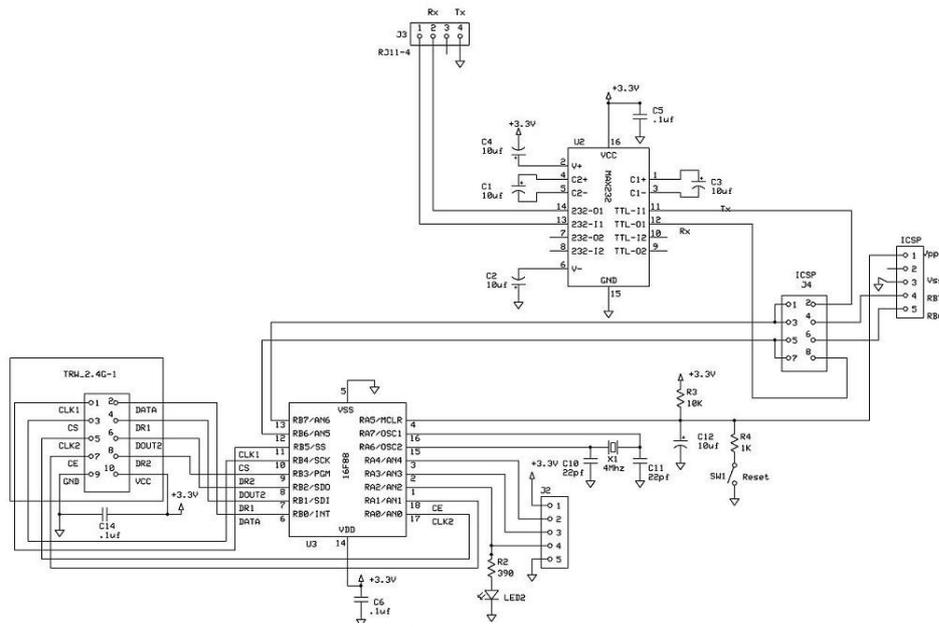


Ilustración 33: Circuito de modulo de control

7.1.8 Driver de potencia

Se realizó un circuito basado en un driver H con transistores TIP110 de bajo costo, optoacoplado la etapa de potencia con la de control para de esta manera evitar el ingreso de ruido eléctrico a la etapa de control.

Se desarrolló un circuito digital complementario que evita la activación de dos líneas de control del driver H al mismo tiempo, que como se ensayó en versiones anteriores de esta etapa, ocasionan en el momento de encendido o bloqueo del microcontrolador, un cortocircuito y una escalada térmica que destruye los transistores de potencia (ver ilustración 34).

- TRW-2.4GHz
- WENSHING
- Alcance efectivo 15Mt
- 2 Canales – Full Duplex
- 3 Volt
- Data Rate: 250Kbps~1Mbps
- Sensibilidad: -80~-90 dB
- 10 Pines (8 Data)
- u\$ 15



Ilustración 36: Módulos de RF

7.1.10 Protocolo de comunicación

Es necesario desarrollar el software para la comunicación entre los robot y el computador, además de diseñar un sencillo protocolo de comunicación.

Todos los robot son controlados en forma autónoma sin intervención humana por un único computador en base a su sistema de imágenes global. Puede observarse que pese a soportar comunicación full dúplex, el computador no recibe información del robot, se utiliza la comunicación en un solo sentido (ver ilustración 37).

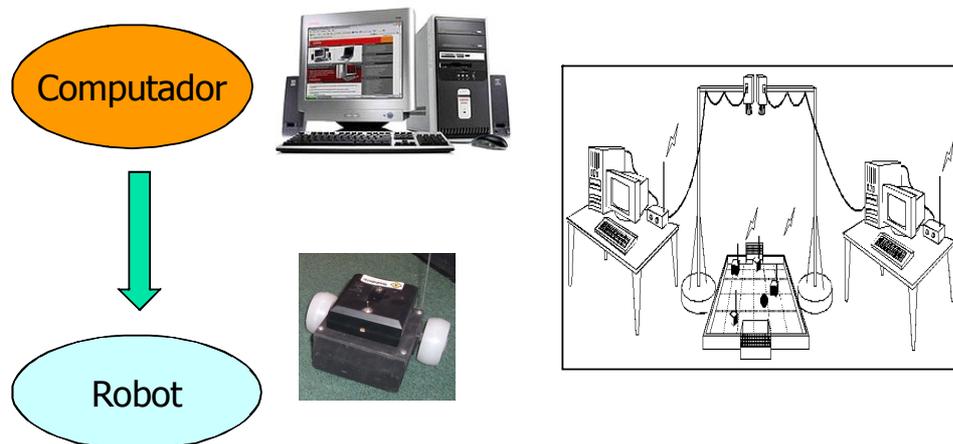


Ilustración 37: Modelo básico de comunicación

7.1.11 Trama

El gestionado de la comunicación es realizado mediante las configuración por software que carga el módulo central de control en el segundo microcontrolador que se encuentra en los módulos de 2,4Ghz. En base a estos parámetros se identifican los address (direcciones de la placas RF de los robots). Cada robot recibe un conjunto de tres caracteres el primero fija la velocidad del motor 1, el segundo la velocidad del motor 2 y el tercero es un segundo chequeo de paridad, ya que los módulos poseen su propio chequeo de integridad de datos.

El controlador descompone el carácter de cada motor y con valores de 0 a 125 mueve el motor hacia delante con una velocidad comprendida entre 0 y 125. Si recibiera un carácter comprendido

entre 126 y 255 se invierte el sentido de giro se resta 126 y se toman nuevamente las velocidades entre 0 y 125. Cuando se recibe un 0 significa detener el motor. Es un protocolo fuertemente dependiente el sistema de realimentación visual donde el robot solo se mueve al recibir la orden, por ello en pleno movimiento el canal se mantiene continuamente ocupado con datos minimizando así la interferencia por señales externas (ver ilustración 38).

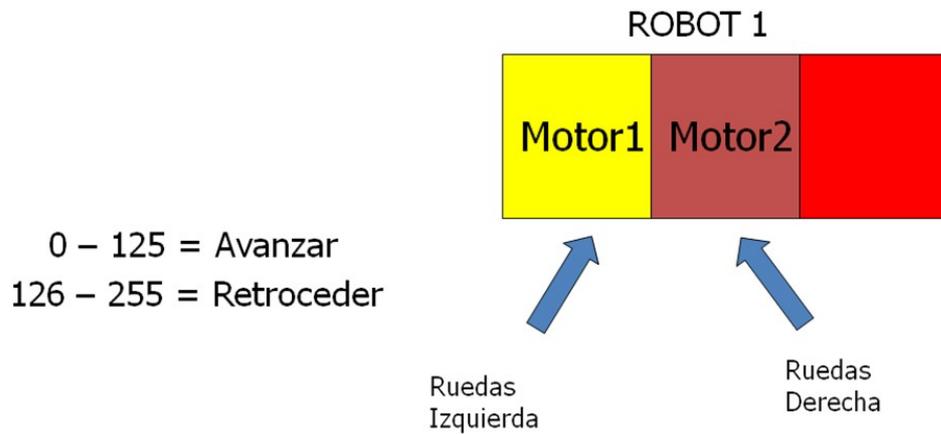


Ilustración 38: Comandos por ruedas

Finalmente la trama completa estará formada por un encabezado generado y filtrado por el módulo emisor / receptor siendo totalmente transparente para el usuario donde solo se fija la dirección address destino.

Se utilizó un protocolo de multifunción donde se le envía todo el tiempo a todos los robots un vector de 5 posiciones, o sea 25 caracteres en total.

Cada robot al conocer su propio número toma el grupo de tres caracteres que le pertenecen para luego procesar esa información (ver ilustración 39).

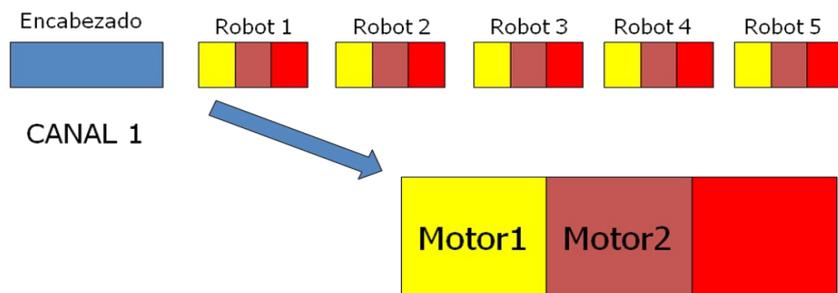


Ilustración 39: Protocolo trama completa.

7.2 Los robots

7.2.1 Robot de fútbol V1

Este robot fue la primera versión realizada a principios del 2006. Utilizada para el CAFR2006 (Campeonato Argentino de Fútbol de Robot) y presentada en el WorkShop de Inteligencia Artificial Aplicada a la Robótica Móvil. Donde su principal característica radica en un diseño de la estructura modular. La desventaja de esta configuración fue que a máxima velocidad realizaba un movimiento de cabeceo, debido principalmente a la altura del robot. Esto se contrarrestó ensanchando su base y alejando las ruedas de compensación (ver ilustración 40).

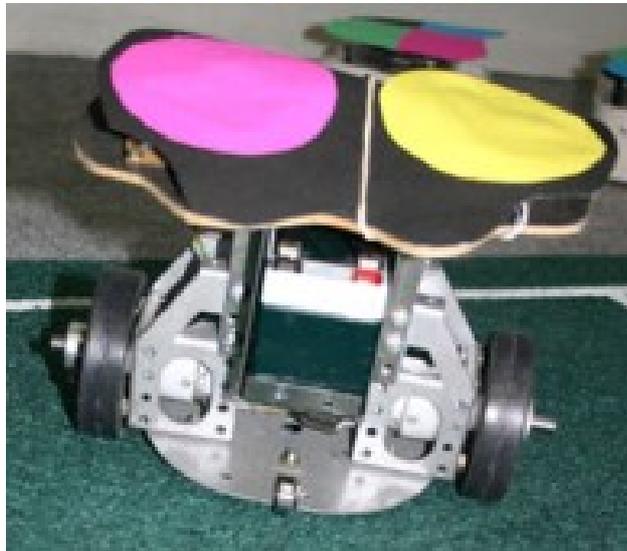


Ilustración 40: Robot de fútbol V1

7.2.2 Robot de fútbol V2

En esta versión se aumentó la robustez del robot y se compactaron todos sus componentes de tal manera que soportara impactos a máxima velocidad. Se aumentó la superficie de tracción con ruedas de mayor tamaño y se separó los motores y la batería de la unidad de control. Con la ventaja de facilitar el cambio de batería o el reemplazo de la unidad de control. A continuación en las ilustraciones 41, 42, 43, 44 se muestran diferentes vistas del robot indicando cada una de los bloques anteriormente descriptos.



Ilustración 41: Robot de fútbol V2



Ilustración 42: : Vista del interior con sus principales módulos

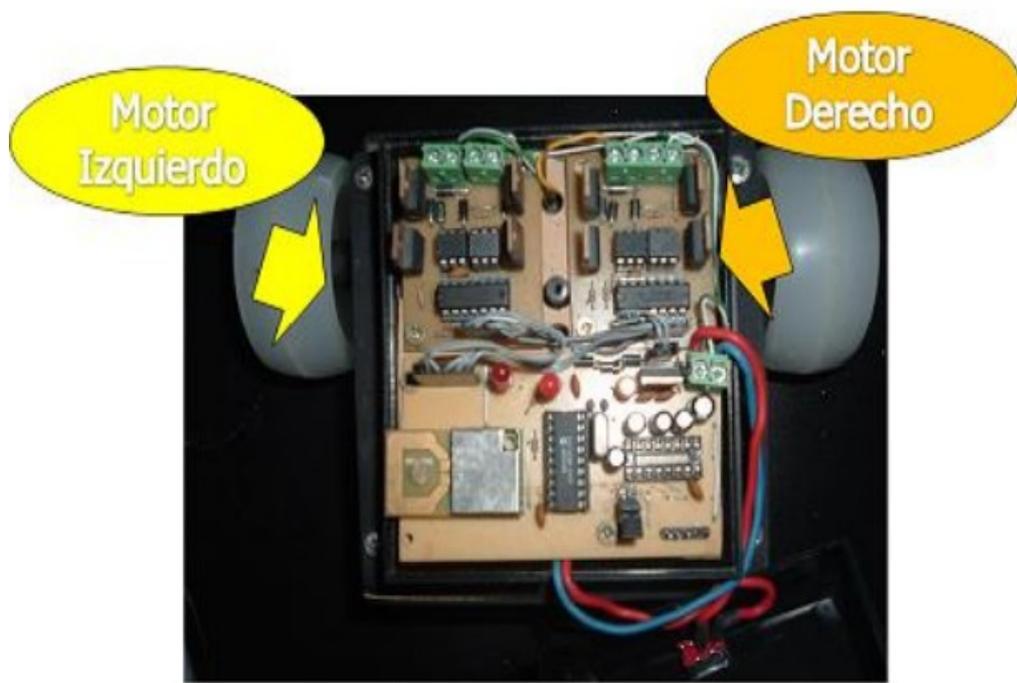


Ilustración 43: Vista con señalización de los motores

8 Desarrollo del hardware y software

A continuación se describen los principales puntos considerados para el desarrollo del software, su arquitectura básica y el hardware utilizado con el objetivo de hacer posible la repetitividad de la experiencia.

8.1 Especificaciones técnicas del hardware

Notebook

- Pentium III con 128 Mbytes de memoria RAM
- Sistema operativo Windows XP SP2 en castellano
- Visual Basic .Net 2003
- Puerto Serie 232 y 2 Puertos USB

Computadora

- Pentium IV con 512 Mb de memoria RAM
- Sistema operativo Windows XP SP2 en castellano
- Visual Basic .Net 2003
- Puerto Serie 232 y 2 Puertos USB

8.2 Programador de microcontroladores pic

Los programadores son dispositivos electrónicos que permiten grabar el programa de control desde un computador a la memoria de programa del microcontrolador. Existen varias versiones libres que pueden conectarse a la computadora por puerto paralelo por puerto USB y por serial.

- GTP Plus
- GTP Little
- JDM

- Programador NeoRobotic.

Robots

- Robots de fútbol V1
- Robots de fútbol V2
- Otro prototipos

8.3 Especificaciones técnicas del software utilizado

8.3.1 El Compilador

8.3.2 MikroBasic V5.0.2 [MikroBasic,2009]

Es un compilador que permite desarrollar programas en Visual Basic y luego compilarla al código máquina del microcontrolador. Posee una interface de usuario muy sencilla (ver ilustración 45). En su versión gratuita permite hasta 200 líneas de código. Dado el bajo costo de la licencia se lo compró pues algunos programas superaban esta limitación, con un costo de U\$149 .

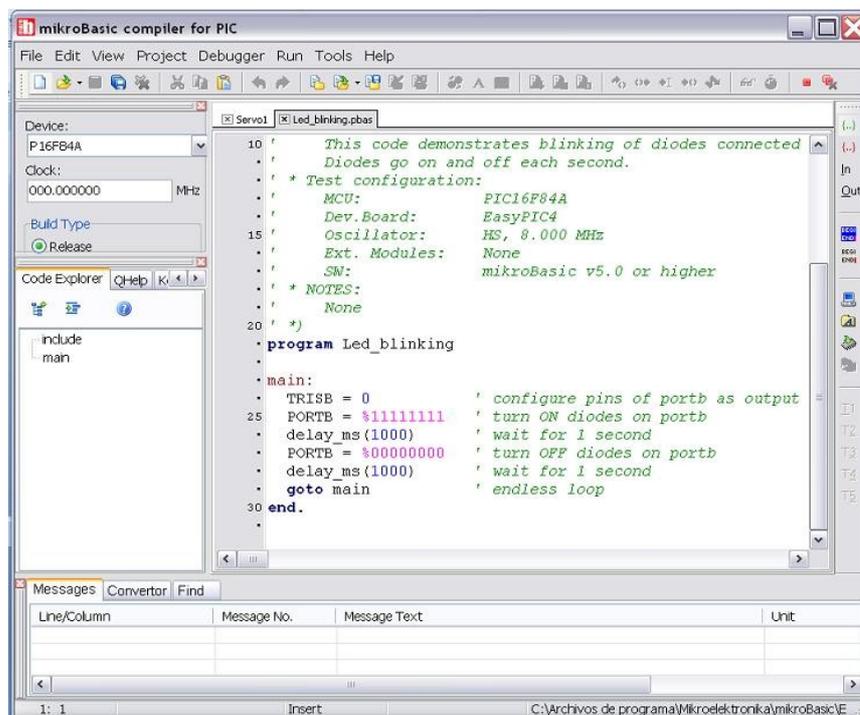


Ilustración 44: Mikro Basic V5.0.2

8.3.3 CCS PCWH Compiler [CCS PCWH]

Es otro compilador de la firma Custom Service Computer Inc. Que permite programar en lenguaje C, para luego ser compilado a código máquina (archivo .hex), es licenciado (ver ilustración 46).

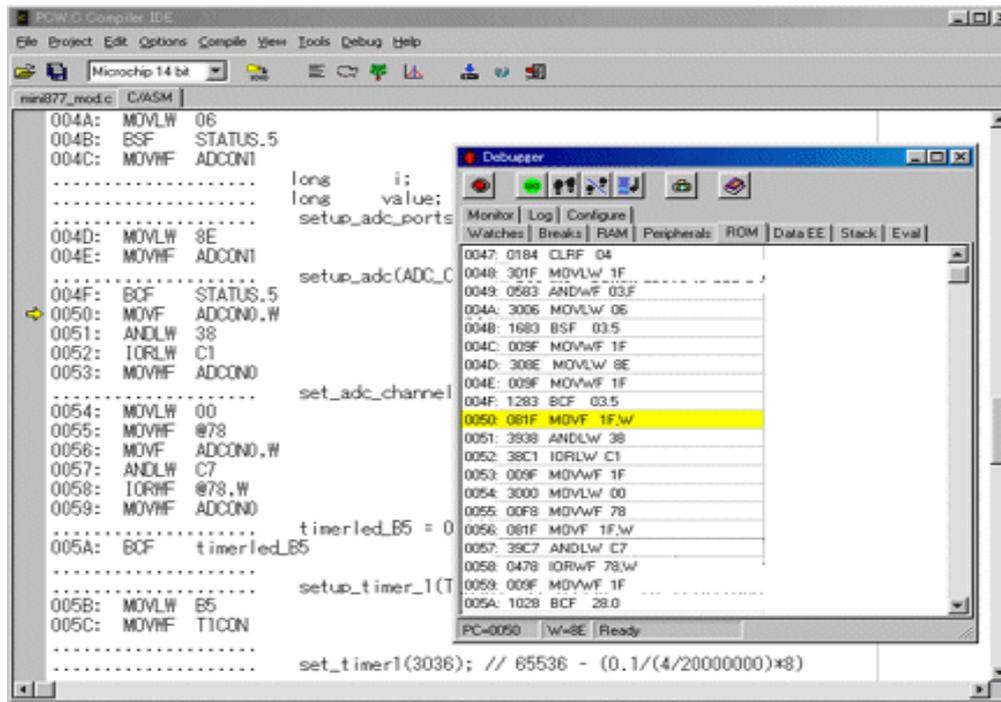


Ilustración 45: CCS PCWH Compiler

8.3.4 MPLAB [MPLAB,2009]

Es el entorno gratuito de Microchip [Microchip,2009] empresa creadora los microcontroladores que se utilizaron en este trabajo. Permite programar en ASSEMBLE y compilarlo a código maquina (archivo .hex), para todas la gama de micros, así mismo cuenta con un simulador a igual que los dos compiladores anteriormente citados.

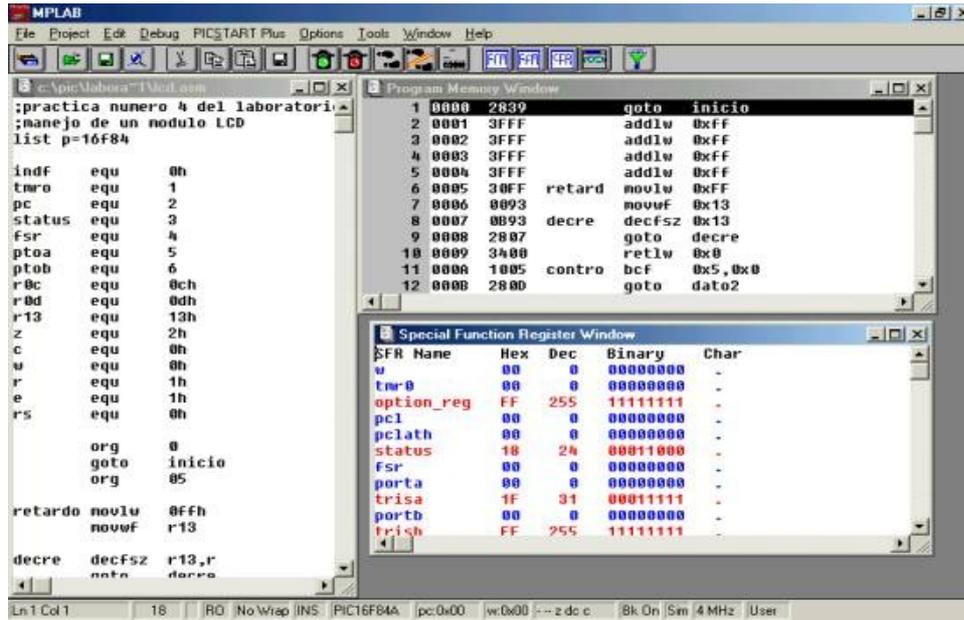


Ilustración 46: MPLAB Software para del programador de PICs

8.3.5 WinPic800 (licencia gratuita) [WINPIC800, 2009]

Es un programa que junto con los programadores mencionados permite pasar el programa en código maquina (archivo .hex) a la memoria programable del lo microcontrolador. Se utilizó este programa en su versión gratuita dada la calidad, velocidad y compatibilidad con el hardware desarrollado (ver ilustración 48).

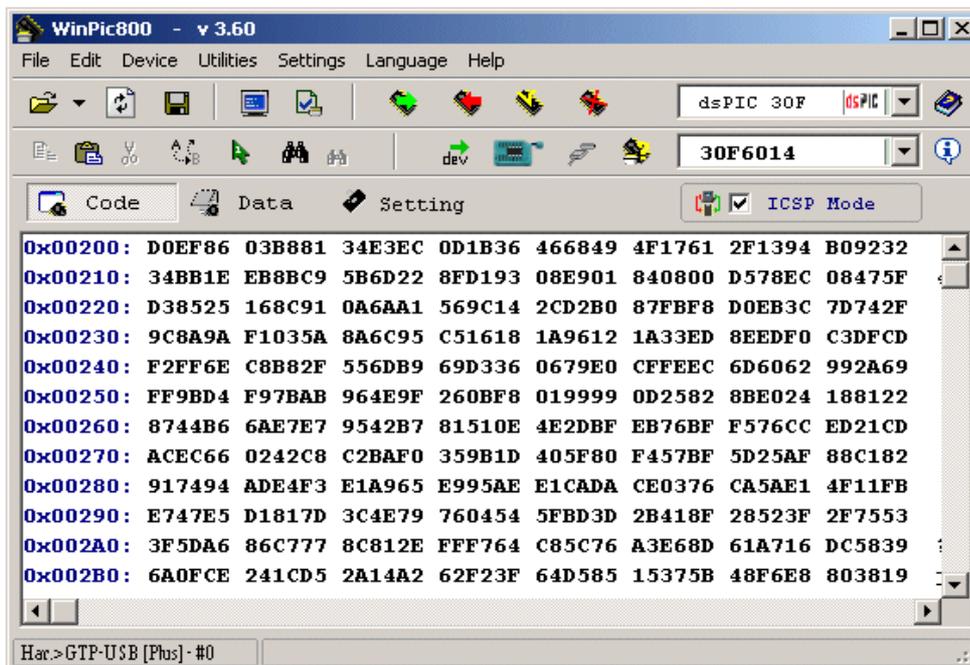


Ilustración 47: Winpic8000 Grabador

8.3.6 Placas electrónicas

Una vez diseñados los circuitos electrónicos es necesario montarlos. Existen dos pasos a seguir para montar las placas.

- La primera es con placas experimentales las cuales pueden ser útiles para prototipos simples, pero no es muy aconsejable para circuitos complejos o que contengan etapas de comunicación.
- La segunda opción es desarrollar las propias placas, realizando la impresión de la máscara, su impresión sobre una placa sensible de cobre, y luego un baño químico para eliminar las partes no conductoras del circuito impreso.

8.3.6.1 ExpressSCH

Programa utilizado para el diseño del circuito esquemático de las placas desarrolladas. De licencia gratuita posee la ventajas de funciones especiales que nos permitieron utilizar componentes del mercado local, creando nuestra propia librería de componentes (ver ilustración 49).

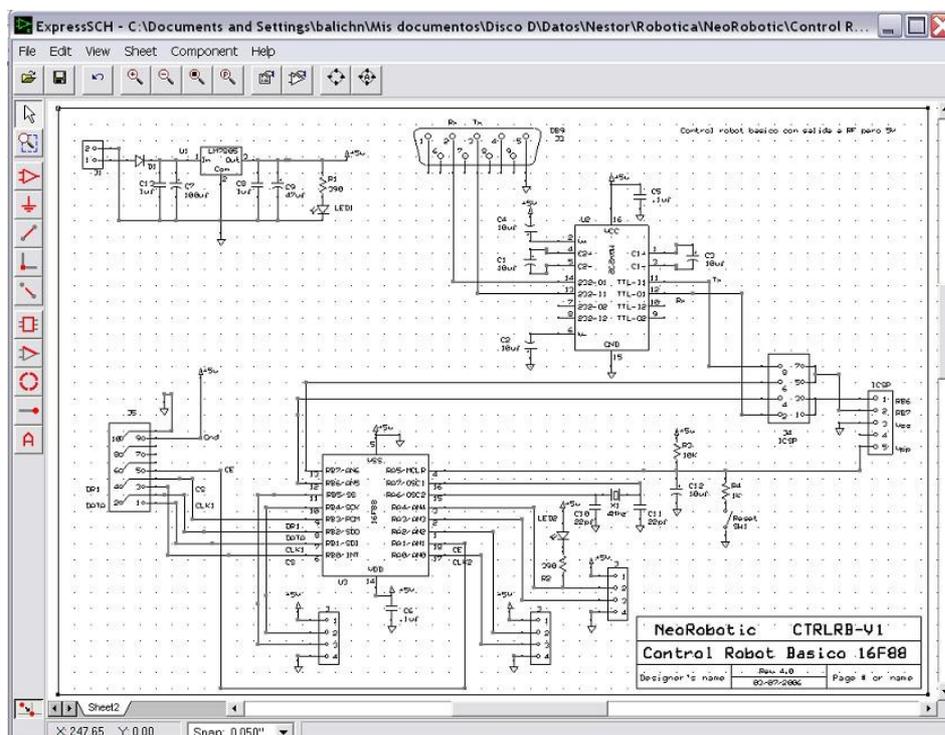


Ilustración 48: ExpressSCH (esquemático circuito electrónico)

8.3.6.2 ExpressPCB

Una vez realizado el circuito se utilizó este programa para vincular el esquemático generado con ExpressSCH. Se colocaron los componentes y se realizó el ruteo de los mismos.

Este programa también permite crear nuestros componentes con las dimensiones reales, realizar mascarar de hasta dos caras y no posee ruteador automático (ver ilustración 50).

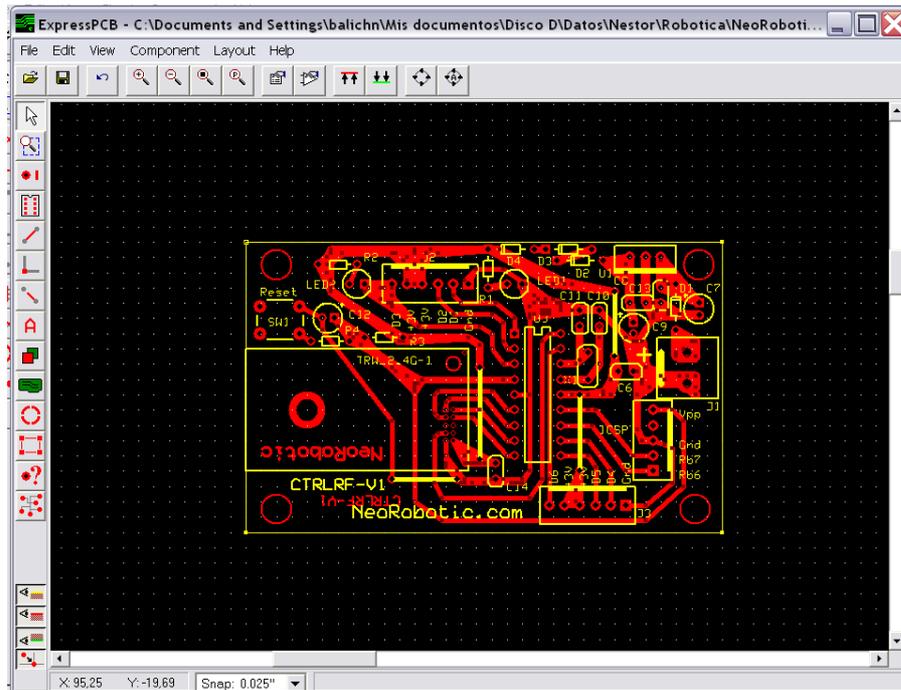


Ilustración 49: ExpressPCB (máscara del circuito impreso)

8.4 Programa embebido

8.4.1 Controlador del robot

Se requiere un programa que al ejecutarse sobre la placa del controlador del robot. El programa debe ser capaz de recibir los comandos a través del enlace por radio, decodificarlos, validar si la información es correcta y determinar a que robot está dirigida. Una vez decodificada e interpretada el programa debe accionar, controlar la velocidad y el sentido de giro de los motores con cuenta el robot.

El conjunto del sistema se diseño basado en tecnología de objetos y su representación simplificada mediante el modelo algorítmico que se observa en la ilustración 51.

8.4.1.1 Modelo algorítmico del sistema

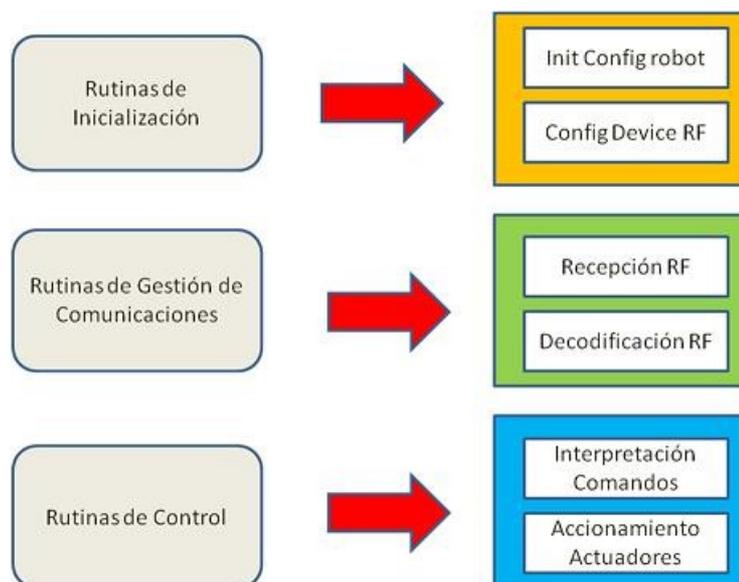


Ilustración 50: Modelo algorítmico del sistema

8.4.1.2 Rutinas de inicialización

Este conjunto de rutinas cumple la función de inicializar los dispositivos que conforman el controlador del robot.

Realizando una división en base a microcontroladores existen dos dispositivos principales a inicializar que son:

- Placa de Control: El dispositivo principal del sistema, y se podría considerar como el *CEREBRO* del robot. Su función principal es la inicializar el sistema, gestionar la comunicación con el dispositivo de RF, controlar la etapa de potencia y determinar el funcionamiento correcto del sistema. Existen un conjunto de rutinas que permiten inicializar los registros internos del sistema, la variables de posición y velocidad, las variable de sentido, el chequeo de integridad de datos, el armado de la trama antes de ser enviada, y la lógica de automatización de tareas como es el caso de los comandos para avanzar, retroceder o patear entre otros posibles. Este conjunto de rutinas de inicialización las hemos denominado **Init Config Robot**.

- Placa de RF: Se podría considerar como la *VOZ* y el *OIDO* del robot que le permite comunicarse con el computador central. Esta placa está formada por el modulo de 2,4Ghz, contiene un microcontrolador que recibe órdenes a través de un bus de datos. Para ello, es necesario enviar durante el inicio una serie de comandos que fijarán el canal a utilizar por el enlace de RF, el número de dispositivos a conectar, el tipo de chequeo de integridad de información, la longitud y formato de la trama de datos que se denominó como **Config Device RF**.

8.4.1.3 Rutinas de gestión de comunicaciones

Recepción de RF: Existe un conjunto de rutinas ejecutadas por el microcontrolador del módulo RF a las cuales no se tiene acceso, que son encargadas de gestionar la transmisión y recepción del enlace por radio frecuencia. El programa desarrollado enviará las rutinas de inicialización a este módulo y luego un conjunto de rutinas con órdenes anatómicas hacia este módulo (enviar datos, recibir datos, enviar a todos entre otras).

- Decodificación de RF: Es el conjunto de rutinas internas del módulo RF que realizan el modulado/demodulador de la información. Existe otro conjunto de rutinas en el microcontrolador 16F84 que se encargan de decodificar una segunda codificación basada en el protocolo anteriormente descrito.

8.4.1.4 Rutinas de control

Interpretación de comandos: Una vez decodificados los datos es necesario interpretarlos, si bien estas rutinas podrían estar tanto en este grupo como el anterior, en base al criterio de lógica en la toma de acciones por parte del robot y su vinculación directa se prefirió esta clasificación. Al interpretar estas órdenes el sistema discriminará si son comandos o parámetros, qué tipos de comandos son, si pertenecen a este robot u otro.

Accionamiento de actuadores: Una vez ya completada la etapa de decodificación, interpretación y validación queda la etapa de llevar a cabo las acciones. En este caso, por ejemplo son comandos que actúan sobre los motores (que es un tipo de actuador) en diferentes niveles de abstracción, girar rueda izquierda adelante a velocidad X, girar rueda derecha atrás a velocidad X y la composición de estas dos órdenes girar robot hacia la derecha a velocidad X (ver ilustración 52 y 53).

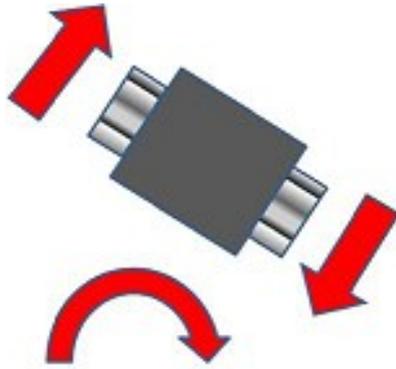


Ilustración 51: Giro Derecha

Diagrama de estados

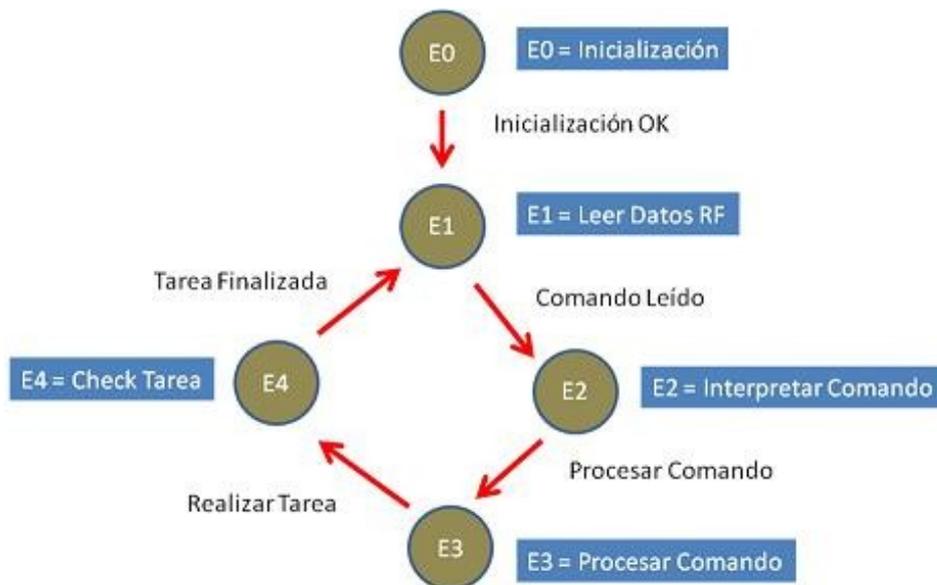


Ilustración 52: Diagrama básico de estados

8.4.2 Programa de testeo autónomo

Este programa está diseñado para controlar el robot en forma autónoma realizando algunas secuencias fijas de control, en función de tiempos internos y una lógica establecida para testeos de hardware. Por ejemplo avanzar 2 segundos, girar a derecha 1 segundo, girar completo 2 segundos, avanzar 2 segundos, detenerse 2 segundos y comenzar nuevamente. Este programa no

utiliza el modulo de RF, y también se utilizó para probar duración de batería, temperatura de las etapas de potencia, y resistencia a los choques del robot (ver ilustración 54)

8.4.2.1 Diagrama simplificado de estados



Ilustración 53: Diagrama simplificado de estados

8.4.3 Programa de interface con la computadora

Este programa controla la interface que se conecta al puerto serie del computador y permite realizar el enlace por radiofrecuencia. Inicializa el módulo de 2.4 Ghz y gestiona el protocolo de comunicación por RS232 con la computadora. El programa se ejecuta y se encuentra grabado dentro del 16F84 que controla esta interface (ver ilustración 55 y 56).

Esquema del enlace radiofrecuencia

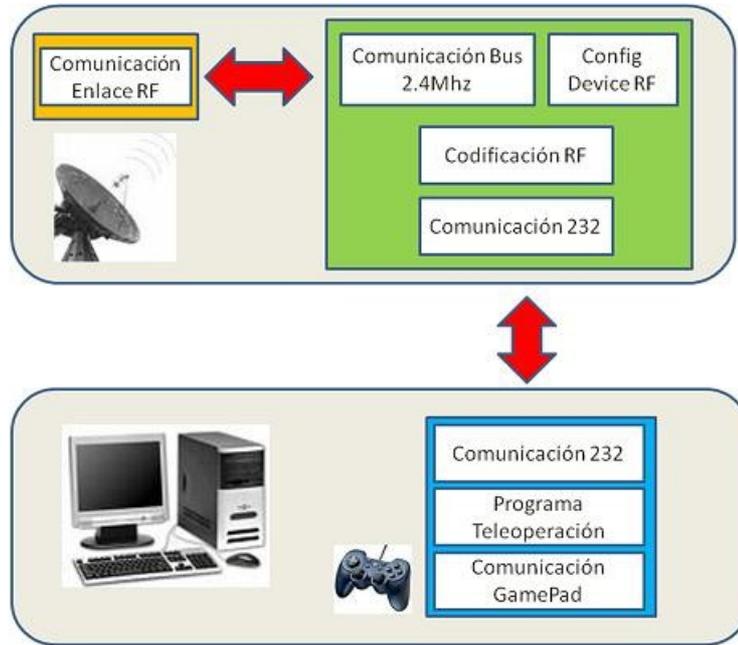


Ilustración 54: Esquema de enlace RF

Diagrama simplificado de estados del enlace radiofrecuencia



Ilustración 55: Diagrama simplificado de estados del enlace RF

8.4.4 Programas en la computadora

8.4.4.1 Programa testeo remoto

Principalmente permite probar y validar el funcionamiento correcto del sistema (controlador central la computadora, comunicación por radio y los robots en su conjunto). Permite teleoperar un conjunto de hasta cinco robots, con una interface visual en Windows, permite configurar velocidad de las ruedas de cada robot, posee comandos compuestos que se ejecutan de forma transparente para el usuario, como es el caso de avanzar, girar o retroceder. El control se puede realizar por teclado o mediante una interface por gamepad.

Se desarrolló con un modelo de objetos y única clase robots. La interface con el gamepad se realizo mediante una clase que utiliza la tecnología DirectX de Microsoft, desarrollado en Visual Basic .net 2003, se puede ver la interface visual en la ilustración 56 y su esquema simplificados en la ilustración 57.

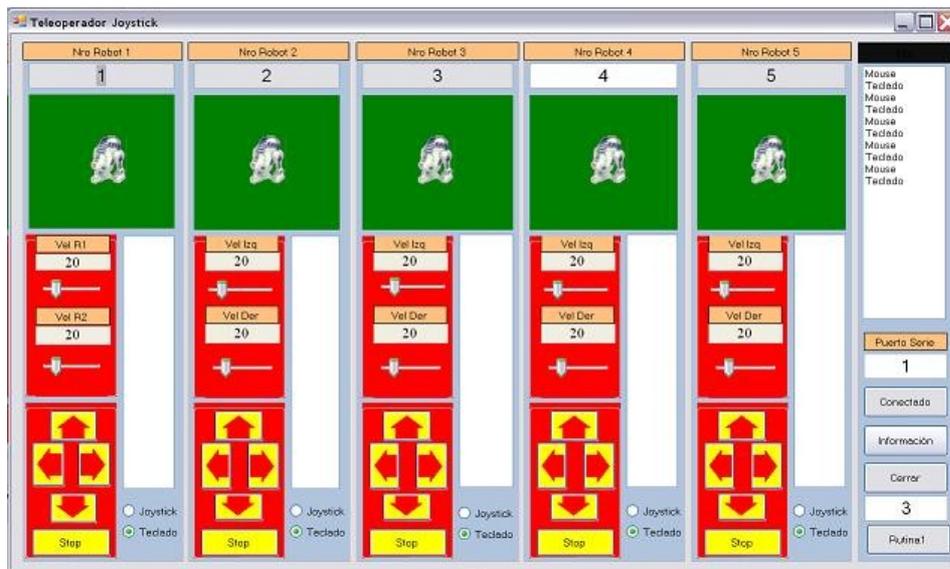


Ilustración 56: Programa de control



Ilustración 57: Esquema simplificado programa teleoperación

8.4.5 Sistema de reconocimiento de imágenes

Con el fin de realizar comportamientos complejos y validar el desempeño con otros robots, es necesario utilizar un sistema de reconocimiento de imágenes que permita al computador reconocer la posición de los robots, el campo de juego y la pelota. Este programa permite dotar de autonomía al sistema mediante un diseño algorítmico basado de visión centralizada.

Para ello se utilizó en principio un sistema de visión desarrollado por el grupo GIRA del Centro de Investigación [CAETI,2009], la participación de alumnos pasantes y el Ing. Néstor Balich en los aspectos del hardware y robot.

Ya en una etapa más avanzada se utilizó el sistema [DORAEMON] de procesamiento de imágenes para fútbol de robot, desarrollado y liberado por la universidad de Manitoba en Canadá. Utilizado también por el Grupo de Robótica Cognitiva del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Inteligencia Artificial Departamento de Ciencias e Ingeniería de la Computación UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR y también utilizado por la Universidad de la República.

Actualmente se está trabajando en un proyecto de investigación a cargo del autor de este trabajo con un sistema de control y estrategia realizado en Visual Basic . Net, que permita la conexión al Doraemon, la estrategia de juego y control de las acciones de los robots, todo en tiempo real.

9 Análisis y pruebas finales

9.1 Relevamiento mercado nacional.

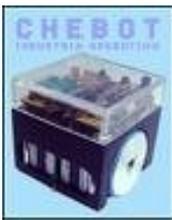
	Robot Futbol V2	Chebot UBA	XIOR	LEGO NXT	BLOKITRONIC
Chasis	Chapa llegada y Fibra fácil	Aluminio	Aluminio de Aviación. Tipo Mecano	Inyección plástica	Bloques tipo Rastrí
Motores	MR6	Paso a Paso	MR5	Servos propios	Mabuchi con reducción tipo Juguete
Controlador	Desarrollo Microchip un Micro	Desarrollo Microchip 2 Micros	Desarrollo Atmel un Micro	Desarrollo propio un Micro	Desarrollo sobre microchip – un Micro
Comunicación	RS232 y RF	RS232 y RF	RS232	Bluetooth	RS232 en un solo sentido
Configuración	Única	Única	Reconfigurable	Reconfigurable	Reconfigurable
Ventajas	Bajo Costo Fácil de construir Elementos Nacionales	Alta tecnología Alta Calidad	Chasis Modular Alta calidad	Chasis Modular Alta calidad	Bajo Costo Elementos mercado nacional
Desventajas	Forma Fija	Forma fija Alto Costo Cargador especial de baterías.	Alto Costo Fragilidad SO propio (dependencia de la marca)	Alto Costo No hay representante en Argentina	Muy Frágil Pensado como juguete Poca escalabilidad Lento
Imagen					
Costo por Robot	\$ 300	\$ 900	\$ 2170 (US700)	\$ 775 (US249) + Importación	\$ 178

Tabla 2: Comparación de costos de Robots y Kits

Robot Fútbol V2	Chebot UBA	XIOR	LEGO NXT
Cuatro Robots\$ 1200	\$ 3600	\$ 8680	\$ 4032
Baterías (Cuatro Robots)\$ 100	\$ 600	\$ 600	\$ 240
Cargador\$ 55	\$120	\$120	\$ 70
Modulo RF Receptor Incluido	Incluido	\$ 840	Incluido
Emisor RF \$ 200	\$ 200	\$ 30	\$ 30
Total \$ 1555	\$ 4520	\$ 10270	\$ 4372

Tabla 3: comparativa de costos para un equipo de 4 jugadores Robots.

(Nota: Blockitronic es eliminado pues no tiene interface por radio frecuencia)

9.2 Se presenta el análisis comparativo de los robots

- **XIOR** (robots donados al centro de investigación en robótica en donde se analizaron) con kits de prototipos de robots, orientados a nichos del mercado externo, en la brecha entre robots de uso universitarios y robots de uso industrial, fabricados con aluminio de aviación y producción CNC (todo tercerizado) con un buen producto pero costoso US\$ 700 dólares.
- **Blockitronic**, producto nacional lanzado este año, comprado y analizado, de calidad media, con pocas prestaciones pero suficientes para ser un juguete para chicos de 7 a 12 años. Consta de un módulo adicional agregado a su línea de bloques plásticos (tipo ratri) ya en el mercado, usa un controlador sencillo, y no pensado para operaciones complejas, costo \$ 270 pesos.
- **NXT**

Es un desarrollo de firma dinamarquesa lego, originalmente con su lego Mirdstorm, que era compatible con sus piezas de construcción incursionaron y se hicieron líderes en el mercado de kits de construcción y robótica, tanto a nivel hobbyista como de estudiantes primario, secundario y

universitario. De hecho grandes centro de investigación como el MIT usa estos kits como herramienta en sus clases de ingeniería y computación.

NXT es la última versión de su kit robótico, con piezas nuevas y no es compatible con el anterior. Es un kit de robótica propiamente dicho, con conexión a bluetooth sensores especiales, motores con control de posicionamiento, y demás accesorios. La desventaja es que no existe representante en el país y se encarece su costo llegando a 100 dólares en gastos de importación

- **CHEBOT**

Fue un proyecto universitario realizado por la Universidad de Buenos Aires con el objetivo de participar en el mundial de fútbol robot en Europa. Es un desarrollo realizado con la última tecnología a nivel mundial por ello algunos de sus componentes se importaron. Se desarrolló una combinación entre motores paso a paso y control de posición innovadora, con placas electrónicas de doble capa, montaje superficial y matricería en aluminio de aviación. Su precio es justo para la tecnología que posee y es mucho más económico que el producto de XIOR. Pero su principal desventaja es su chasis fijo, si bien se puede utilizar su controlador haciendo adaptaciones para otro tipo de robot.

9.3 Robot de Fútbol V2

Estos robots son una evolución de varios desarrollos comenzando con el robot PC0 desarrollado para el congreso de fútbol robot realizado en el 2004 en la Universidad del Centro de Buenos Aires Argentina. Este robot se desarrolló sin gastar un centavo, de allí su nombre Prototipo Costo 0. Se utilizó íntegramente material reciclado, inclusive microcontroladores tomados de otros proyectos. Se tomó contacto por primera vez de la necesidad de un prototipo nacional de bajo costo pensado en impulsar el desarrollo de la robótica como herramienta educativa en el país. Lo siguieron varios prototipos usando el controlador principal de este robot, mejorándolo y reduciendo su costo. Por ejemplo NESCAR1 pensado para competencias de sigue línea, o Robot Seguidor de objetos con procesamiento de imágenes en tiempo real. En el 2006 con la idea de validar alguna de las hipótesis de este trabajo se decide participar en el CAFR2006 y para ello se crea el Robot de Fútbol V1 que utiliza el controlador mejorado e incorpora el modulo de transmisión por radio frecuencia, primero con varios ensayos con módulos de 433Mhz de alarma de vehículos y finalmente con módulos de 2.4 Ghz recién ingresado al país en el 2006. Con la versión V1 se logró el segundo puesto en el campeonato, y dio origen a mejoras en la carrocería, en el control de visión

y en el protocolo de datos que se hicieron para AADECA2006. Finalmente para el CAFR2007 se introdujeron mejoras en la carrocería, un nuevo sistema de imágenes y control en squeak desarrollado en otro proyecto y el desarrollo de un pateador, que permite patear la pelota en forma automática.

9.4 Pruebas con modo autónomo

Se realizaron pruebas de los robot con secuencia de movimientos autónomos programando directamente el controlador de los mismo.

Se obtuvo como resultado que el robot se desempeñan según lo previsto, con gran torque , puede llevar tanto baterías de 12V de 1,2 Amp como baterías 12V 7 Amp. Se ensayaron diferente configuraciones ya que el modelo V1 tenía un cabeceo. Lo que se compenso en el modelo V2 variando la posición de la batería y las posición de la rueda libre, llevándolas de 2 ruedas libres para el V1 a una para el modelo V2.

9.5 Pruebas con modo teledirigido

Se realizó un programa de comando un emisor y un receptor de radio enlace. En esta prueba el objetivo es probar el protocolo de transmisión su velocidad de respuesta, alcance y tolerancia a interferencias.

Se observó como resultado que con el primer protocolo con envío y recepción individual el funcionamiento de una red con token-ring era aceptable, pero producía retardos en el envío/recepción de datos, cuando el número de robots a controlar era mayor a tres.

En una segunda versión se utilizó un protocolo de multidifusión (broadcast) con posiciones vectoriales para cada robot. Esta última variante resultó ser más veloz, sin retardos en envío/recepción al aumentar la cantidad de robots a 5, y baja sensibilidad al ruido eléctrico. La distancia del enlace se comprobó con buen resultado en ambientes ruidosos hasta 10 metros.

9.6 Pruebas y participación en eventos

Fútbol de robot: Participar en eventos con el objetivo de validar experimentalmente el funcionamiento del equipo de robots versus otros equipos. Intercambiar conocimientos y optimizar el funcionamiento.

Resultados: Se utilizo el modelo V1 y se obtuvo el segundo puesto en campeonato Argentino de Fútbol Robot 2006 (CAFR2006) contra el equipo de Universidad de Buenos Aires y el equipo del ENET Roberto Art de tortuguitas.

Para el CAFR2007 se utilizo el modelo V2 y se obtuvo el primer puesto contra el equipo del ENET Robot Art y el equipo de la Facultad de Ingeniería de Uruguay.

10 Validación de las hipótesis propuestas

10.1 VALIDACIÓN

- Hipótesis 1: ¿Es posible diseñar y fabricar un grupo de robots autónomos colaborativos con un presupuesto reducido, con componentes encontrados en el mercado Argentino?

La tabla comparación de precios evidencia que el costo del los robots fabricados es significativamente menor. Este se debe principalmente a dos cuestiones:

1. El bajo costo de los componentes de fabricación utilizados, hallados en el mercado nacional.
 2. La realización del proceso de fabricación en forma completa, eliminando los costos de mano de obra de terceros y eliminación del margen de ganancia al no tener fines comerciales.
 3. Todos lo robot se fabricaron completamente con componentes del mercado nacional y de uso en la industria.
- Hipótesis 2: Un sistema de realimentación visual computacional para robot se puede diseñar y desarrollar en base al sistema de realimentación de la visión humana de forma reactiva, permitiendo controlar los robots de manera eficiente.

El sistema de visión artificial continuamente interactúa con el robot y esta realimentación, al igual que un humano, permitió controlar y compensar la inercia en los motores, velocidades, pateadores, etc. Esta interacción entre sistema de visión y sistema de control permitió controlar eficientemente a los robots, logrando un segundo y primer puesto en el CAFR2006 y CAFR2007.

- Hipótesis 3: El algoritmo de control del grupo de robots autónomos colaborativos se puede delegar mayormente en el sistema de realimentación visual.

Se delegó totalmente el sistema de control al sistema de visión. Los robots sin recibir un comando no realizaban ninguna acción. Para que un robot avanzara 10cm debe recibir la orden de avanzar continuamente hasta que alcance la distancia, chequeada por el sistema de visión.

11 Conclusiones

En la investigación realizada se ha sintetizado el conocimiento existente en el tema y se adquirió experiencia en la fabricación de robots de fútbol. Se adquirió expertis en la utilización de herramientas de diseño y prototipado en CAD (diseño asistido por computador) y fabricación de circuitos electrónicos.

Se realizó la programación y la definición de algoritmos orientados al manejo de un grupo de robots tanto en lenguaje de bajo nivel (Assembler) y alto nivel (VB.net / Python). Por último se logró la integración y comunicación entre robots en un equipo de fútbol integralmente desarrollada en Python que tomó como base el presente trabajo y participó en CAFR2009 organizado por la Universidad de Morón.

Se logró un aporte genuino al construir robots con economía de recursos y producto final además de su sencillez que permitirá el acceso a un mayor número de usuarios.

Se trasladó todo el conocimiento y modelado teórico producto de la investigación en el programa curricular de la Paradigmas Tecnológicos II.

Adicionalmente aunque no era requisito para la tesis de maestría se construyeron los robots, se desarrollaron los algoritmos necesarios, esto permitió comprobar el trabajo teórico y en muchos casos realimentarlo.

En base a estos resultados se decidió continuar la investigación orientada a:

- a) El desarrollo de una plataforma de robótica educativa de bajo costo
- b) Investigar y desarrollar un sistema de imágenes propio.
- c) Modelado de algoritmos independiente del lenguaje, utilizando Python sobre Linux/Windows.
- d) Incorporar estas prácticas de programación en la enseñanza de programación orientada a objetos en la materia Paradigmas Tecnológicos II de 3º año de la carrera en Ingeniería en Sistemas Informáticos,
- e) Incorporar la construcción de un robot por parte de los alumnos en la materia Paradigmas Tecnológicos II. Utilizándola como herramienta educativa integradora, fomentando el trabajo grupal, y realización de un proyecto desde el diseño y construcción del hardware, la programación en los diferentes niveles, hasta interfaces de usuarios

Muchos de los objetivos planteados a futuro, se han materializado en diferentes trabajos:

El conocimiento producto del desarrollo y experimentación poco habitual, se pudo trasladar a los alumnos bajo con la idea de enseñar todos los temas involucrados en la construcción/programación de robots mediante la experimentación real. Esta transferencia de conocimiento se realizo con éxito durante el primer cuatrimestre de la materia Paradigmas Tecnológicos II 2009 , en la cual 25 alumnos construyeron mas de 15 robots (incluyendo programación en bajo y alto nivel, contenidos teóricos de la materia, investigación)

Se creo la version 3 de los robots mejorando los algoritmos del sistema de control y modificando la parte mecánica con mejoras producto de las participaciones en 2006 y 2007, agregando la funcionalidad de pateador a los tres robots.

Se creo un software de control basado en agentes distribuidos con comportamiento emergente desarrollado en Python, creando el equipo pyB presentado en el CAFR2009 organizado por la Universidad de Morón en octubre de este año.

Se participo por segunda vez con el equipo CAETIFC programado en squeak sobre la misma plataforma robótica.

Bibliografía

- ACFR: , Robot teledirigido de exploración submarina, , <http://www.acfr.usyd.edu.au>
- Aeroenvironment , 2009: , High-Altitude Solar-Electric Airplanes, 2009, http://www.avinc.com/media_gallery/
- Amandi, 2001: Amandi, Desarrollo de Sistemas Multi_Agentes Inteligencia Artificial, 2001
- ASIMO,2009: , Robot bípedo del tipo humanoide, 2009, <http://world.honda.com/ASIMO>
- Balich, 2004b: Ing. Néstor Adrián, Charly 1 (Robot de Experimentación), 2004, <http://www.robotia.com.ar>
- BlockyTronic,2009: BlockyTronic, Kit nacional de robotica para niños, , <http://www.blockymaniacom.ar/blockytronic>
- Byoung-Ju et al.,1999: Byoung-Ju Lee, Sung-Oh and Gwi-Tae Park, Trajectory Generation and Motion Tracking Control for the Robot Soccer Game , 1999
- CAETI,2009: , Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática, 2009, <http://www.caeti.uai.edu.ar>
- CAFR,2004: , Campeonato Argentino de Fútbol Robot, 2004, <http://www.exa.unicen.edu.ar/cafr2004>
- Castelo et al.2002: Claudia C. Castelo Héctor R.Fassi , Flacio E.Scarpettini, Revisión del Estado del Arte y Desarrollo del Equipo de Fútbol Robot , 2002
- CCS PCWH: , CCS PCWH Compiler - Lenguaje C para microcontroladores, 2009, <http://www.ccsinfo.com/content.php?page=comppcwide>
- DANTE II: , Robot teledirigido de exploración de volcanes , 2009, http://www.ri.cmu.edu/projects/project_163.html
- DORAEMON: , Soft de Reconocimiento de imágenes para fútbol robot, , <http://sourceforge.net/projects/robocup-video>
- Keigo , 1998: Keigo Watanabe , Control of an Omnidirectional Mobile Robot. Proceeding, 1998
- Laplagne,2002: Ignacio Eduardo Laplagne, Aspectos de estrategia y control en un equipo de fútbol de robots, 2002
- Lego NTX,2009: Lego, kit para robotica, 2009, <http://mindstorms.lego.com>
- Mars Express,2009: , Sonda orbital marciana, , <http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=9>
- Marvin: Technische Universitat München, Robot móvil con visión estereoscópica, , <http://www.rcs.ei.tum.de/research/rovi/marvin.html>
- Mataric, M. J: Maja J Matarić, Professor of Computer Science and Neuroscience - University of Southern California , , <http://www-robotics.usc.edu/~maja/>
- Microchip,2009: , Empresa fabricante de microcontroladores., 2009, <http://www.microchip.com>
- MikroBasic,2009: MikroBasic, Lenguaje Basic para microcontroladores, , <http://www.mikroelektronika.co.yu/en/compilers/mikrobasic/pic/index.htm>

- Mondada et al.,1999: F. Mondada, E. Franzi, A. Guignard, Proceedings of the 1st International Khepera Workshop, 1999, 1999, http://en.wikipedia.org/wiki/Khepera_mobile_robot
- MPLAB,2009: Mikrochip, MPLAB, 2009 - Entorno de programación en assembler, 2009, <http://www.microchip.com>
- O.T.R.I. , Robot de investigación con 6 sonares, , http://www.otri.us.es/articulos/ver_articulo.php?idart=24
- PathFinder y Rovers,1997: , PathFinder y RoversRobots de exploración del planeta Marte, 1997, <http://marsprogram.jpl.nasa.gov>
- Robot Rastreador, Emérita: , Robot Rastreador, , <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/proyecto.htm>
- RobotSot,2005: FIRA, Categoría de robots autónomos , 2009, <http://www.fira.net>
- Santos et al.,2003: Jaun Miguel Santos, Hugo Daniel Scolnik, Ignacio Laplagne, Sergio Daicz, Flavio Scarpettini, Héctor Fassi, Claudia Castelo, An approach for control and team strategy in Robot Soccer - Uba-Sot, 2003
- Schmit et al.,2004: Del Rio, da Silva , Schmit, Diseño de un robot autónomo experimental,
- Silvera et al.,2003: Silvera Rodrigo , Aguirre Facundo, Silveria Javier , Zabala Gonzalo, WCAFR2003 - (Work Shop Campeonato de Fútbol de Robot), 2003,
- SnakeBot,2001: Astrobiology News staff writer, SnakeBot – Robot del tipo serpiente, , http://nai.arc.nasa.gov/news_stories/news_detail.cfm?ID=197
- Thongchai et al.,2000: Thongchai, S; Suksakulchai, S; Wilkes, DM; Sarkar, Sonar behavior-based fuzzy control for a mobile robot, 2000,
- Veloso, Kwub,1998]: Leuven, Belium, May 1998 . Kwub Han, Manuela Veloso, Reactive Visual Control of Múltiple Non -Holonomic Robotic Agents, 1998
- WINPIC800, 2009: , Programa de grabación de microcontroladores, 2009, <http://www.winpic800.com>
- Yujin-Robot,2009: , Empresa de desarrollo de Robot de fútbol, 2009, <http://www.yujinrobot.com/english/index.php>

12 Anexos

12.1 Plan de trabajo

Etapa	Descripción	Tiempo	Estado
1°	Recolección de información, y confección del estado del arte	8 meses	Finalizada
	Identificar puntos clave		
	Redacción introducción		
	Redacción marco teórico		
	Investigación del mercado nacional		
2°	Diseño y elección de prototipo	7 meses	Finalizada
	Diseño y fabricación de circuitos controladores		
	Diseño y construcción chasis mecánico		
	Diseño y creación de programas de control		
	Redacción de capítulo de la tesis	1 mes	En curso
3°	Prueba de campo con los robots	2 meses	Finalizada
	Recolección de datos sobre el funcionamiento de los robots		
	Contraste de las hipótesis con la realidad	1 mes	En espera
Redacción de capítulo de la tesis			
4°	Ajustes finales al software de los robots	1 mes	Finalizada
	Protocolo de comunicación para trabajo colaborativo (cuatro robots mínimo).	1 mes	Finalizada
	Integración con otros trabajos de investigación en visión artificial y trabajo colaborativo.	1 mes	Finalizada
	Competencia de fútbol robots CAFR2006	1 mes	Finalizada
	Redacción de capítulo para la tesis	1 mes	En espera

- Grupo de robots reales funcionando.
- Interface de control por RF 2,5 Ghz para PC.
- Videos de las pruebas experimentales y/o participación en competencias.
- Circuitos y esquemas de los robots desarrollados.
- Sugerencias para investigaciones futuras y conclusiones finales.

12.2 Anexo Exposiciones y Congresos

12.2.1 AADECA2006

Participación con el equipo de Fútbol Robot V2, en la semana del control automático realizado en el Centro Costa Salguero por la Asociación Argentina de Empresas de Control Automático, el donde se mostraron los prototipos funcionando con el sistema de visión desarrollado en el CAETI (Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática) de la Facultad de Tecnología de la Universidad Abierta Interamericana.



Ilustración 58: AADECA 2006

Presentación con Alumno que participo en el desarrollo del Sistema de Visión



Ilustración 59: AAECA 2006 - Stand

Vista panorámica del stand en AAECA2006

12.2.2 CITI 2006 – Buenos Aires

Presentación del equipo de Fútbol de Robot y el sistema de visión desarrollado en el CAETI por el grupo de alumnos dirigido por el Lic. Gonzalo Zabala Investigador de Inteligencia Artificial en Robótica perteneciente al grupo GIRA.

Presentación del grupo de robot y sistema de teleoperación por joystick del desarrollados por Ing. Néstor Balich perteneciente al grupo GIRA (Grupo de investigación en Robótica Autónoma) del Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática – Universidad Abierta Interamericana.



Ilustración 60: CIITI 2006 Stand

Stand CIITI 2006 Bs. As.



Ilustración 61: Equipo Fútbol V2



Ilustración 62: Robots V2



Ilustración 63: Conferencia CIITI 2006

12.2.3 CAFR 2006

Equipo de Fútbol Robot versión V1 presentado en el Congreso Argentino de Fútbol Robot y el Work Shop en Inteligencia Artificial Aplicado a la Robótica Móvil (Segundo puesto en el campeonato de fútbol robot).



Ilustración 64: CAETI vs Roberto Art - CAFR 2006

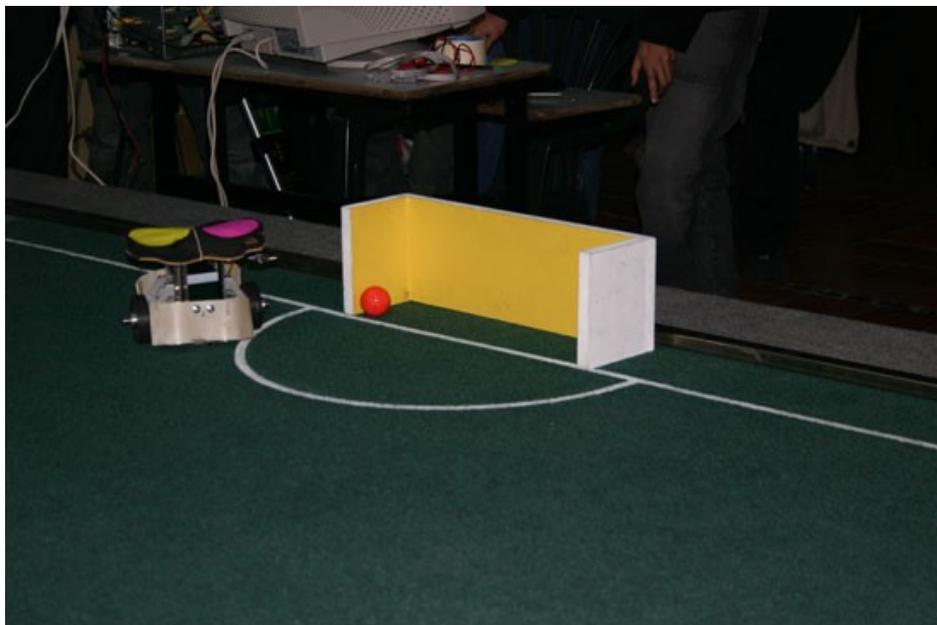


Ilustración 65: Gol de la victoria

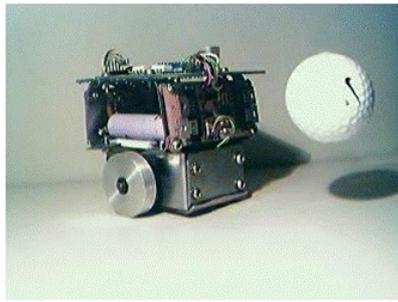


Ilustración 66: Entrega de premios

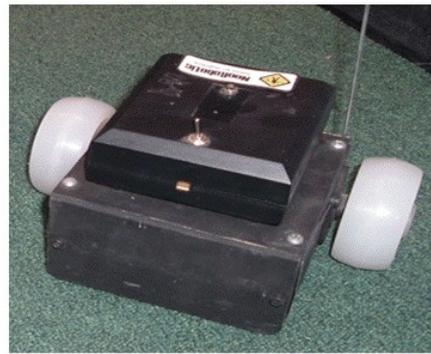


Ilustración 67: Robot fútbol V1

OTRO PROTOTIPOS



Fútbol PC0



Robot Fútbol V2



Simétrico



Seguidor Objetos



Caminantes



NESCARI1

Ilustración 68: Varios robot desarrollos propios



Ilustración 69: Primer prototipo robot Fútbol V1 con driver por relays.