

Universidad Carlos III de Madrid
Escuela Politécnica Superior

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Laboratorio de Sistemas Inteligentes



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MICROROBOT
(EUROBOT09)
PROYECTO FIN DE CARRERA
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

Autor: Victoria E. de las Heras Benito
Tutor: José María Armingol Moreno

Madrid, 2009





AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se ha conseguido realizar gracias a la ayuda de varias personas sin las cuales no se podría haber llegado a este resultado final, por eso me gustaría hacer mención de todos ellos, también me gustaría pedir perdón de antemano a aquellos que por olvido omita en este texto.

En primer lugar, le agradezco a José M^a Armengol, mi tutor, haberme dado la oportunidad de participar dos años en la construcción de microrobots para el Eurobot. También les agradezco, tanto a mis compañeros del año pasado como con los que he desarrollado el presente proyecto, por compartir con buena cara los buenos y malos momentos.

Quisiera hacer una mención especial a aquellos que desinteresadamente nos ofrecieron su ayuda, en concreto a los técnicos como Fernando y José, y con más hincapié a Guille porque, a parte de la ayuda prestada, nos ofreció su amistad.

Hay otro grupo de personas que no sólo ha estado presente durante este proyecto, sino que lo ha estado a lo largo de toda mi carrera e incluso antes.

De este grupo me gustaría agradecerse principalmente a mis padres que además de financiarme, me han seguido queriendo sin echarme de casa ni para exámenes. Y por su puesto a mis hermanos por soportarme y confiar en mi.

No menos importante, mi novio, Dudi, el cual ha participado activamente en este proyecto, además de su apoyo incondicional durante toda la carrera.

También se merece un hueco mi amiga y correctora Almu, tanto por su ayuda, su apoyo y su amistad principalmente.

Tampoco podría dejar de mencionar a Paloma, amiga desde la infancia, con la cual he compartido más de 20 años y sin la cual no sería como soy a día de hoy. Otra amiga a destacar es San, mi enciclopedia humana, por su amistad y apoyo incondicional.

No podría terminar sin citar a todos los compañeros que he tenido en la carrera y que también me han prestado su ayuda y su amistad. En especial a Sara, mi primera y verdadera amiga en la carrera; a Glori con los que compartí otras muchos momentos consiguiendo otra amiga más; y por supuesto a Laurita, con la que he compartido los dos últimos años, llegando casi a ser pareja de hecho, a la que agradezco sobre todo su comprensión y el haber conseguido otra amistad. Brevemente quiero hacer mención de otros “compis” como Elena, Ruth y Diego.



INDICE

	Página
INDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....	9
Capítulo 2. ESTADO DEL ARTE.....	11
2.1. INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA.....	11
2.2. CRONOLOGÍA DE LA ROBÓTICA.....	12
2.3. LA ROBÓTICA EN LA ACTUALIDAD.....	16
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS.....	18
I.- Clasificación por estructura mecánica.....	18
II.- Clasificación por el tipo de control.....	19
III.- Clasificación por el tipo de trayectoria.....	20
IV.- Clasificación por aplicación.....	21
2.5 EUROBOT.....	21
Capítulo 3. PROBLEMA Y SOLUCIÓN PROPUESTA.....	29
3.1. DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE JUEGO.....	29
3.2. DESARROLLO DEL PARTIDO.....	39
3.3. EL PROBLEMA.....	42
3.4. LA SOLUCIÓN.....	42
Capítulo 4. ESTRUCTURA, SISTEMA LOCOMOTOR Y ACTUADORES.....	44
4.1. ESTRUCTURA.....	44
4.2. SISTEMA LOCOMOTOR.....	47
4.2.1. Las ruedas.....	49
4.2.1.1. Ruedas motrices.....	49
4.2.1.2. Ruedas locas.....	51
4.2.2. Motores.....	52
4.3. ACTUADORES.....	53
4.3.1. Motor cc cinta elevadora.....	53
4.3.2. Servomotores.....	54
Capítulo 5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y ELECTRÓNICA.....	57
5.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	57
5.1.1. Fuente de alimentación.....	58
5.1.2. Etapas de potencia.....	60
5.1.3. Placa de drivers.....	62
5.2. PLACAS DE CONTROL.....	64
5.3. PLACAS DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL.....	66
5.4. OTRAS PLACAS ELECTRÓNICAS.....	68



Capítulo 6. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN.....	69
6.1. LA RECOGIDA.....	69
6.2. LA ELEVACIÓN.....	72
6.3. EL MONTAJE Y LA CONSTRUCCIÓN.....	77
Capítulo 7. SENSORIZACIÓN Y CONTROL.....	86
7.1. LOS SENSORES.....	86
7.1.1. Sensores de infrarrojos.....	87
7.1.1.1. GP2D12 y GP2D120.....	88
7.1.2. Sensores de fin de carrera.....	96
7.1.2.1. Sensores de fin de carrera en el robot.....	97
7.1.3. Encoders.....	98
7.1.3.1. Encoder EB50.....	99
7.1.4. Ratones ópticos.....	101
7.1.4.1. Ratones MI-2520p.....	101
7.2. LAS UNIDADES DE CONTROL.....	103
7.3. ESTRATEGIA.....	104
7.3.1. Diagramas de flujo.....	107
Capítulo 8. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y MEJORAS.....	121
8.1. RESULTADOS.....	121
8.2. CONCLUSIONES.....	121
8.3. MEJORAS.....	123
Capítulo 9. PRESUPUESTO.....	124
Capítulo I. ESTRUCTURA.....	125
Capítulo II. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN.....	125
Capítulo III. SISTEMA ELECTRÓNICO Y CONTROL.....	126
Capítulo IV. SISTEMA LOCOMOTOR.....	127
Capítulo V. CAMPO DE PRUEBAS.....	127
Capítulo VI. COSTE DE PERSONAL.....	127
RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	127
Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA.....	128
10.1. RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS.....	128
10.2. RECURSOS INFORMÁTICOS.....	128
ANEXOS.....	130

INDICE DE ILUSTRACIONES

	Página
<i>Ilustración 1.1: Logotipo de Planete Sciences.....</i>	8
<i>Ilustración 2.5.1: Logotipo del Eurobot.....</i>	21
<i>Ilustración 2.5.2: Eurobot 1998. Futbol.....</i>	22
<i>Ilustración 2.5.3: Eurobot 1999. Ataque al castillo.....</i>	23
<i>Ilustración 2.5.4: Eurobot 2000. Parque de atracciones.....</i>	23
<i>Ilustración 2.5.5: Eurobot 2001. Odisea en el espacio.....</i>	24
<i>Ilustración 2.5.6: Eurobot 2002. Billar aéreo.....</i>	24
<i>Ilustración 2.5.7: Eurobot 2003. Cara o cruz.....</i>	25
<i>Ilustración 2.5.8: Eurobot 2004. Rugby de cocos.....</i>	25
<i>Ilustración 2.5.9: Eurobot 2005. Juego de bolos.....</i>	26
<i>Ilustración 2.5.10: Eurobot 2006. Golf divertido.....</i>	26
<i>Ilustración 2.5.11: Eurobot 2007. Rally de reciclaje.....</i>	27
<i>Ilustración 2.5.12: Eurobot 2008. Misión a marte.....</i>	27
<i>Ilustración 2.5.13: Eurobot 2009. Templos de la Atlántida.....</i>	28
<i>Ilustración 3.1.1: Área de juego.....</i>	30
<i>Ilustración 3.1.2: Distribución de soportes para balizas.....</i>	31
<i>Ilustración 3.1.3: Áreas de construcción.....</i>	32
<i>Ilustración 3.1.4: Columnas.....</i>	33
<i>Ilustración 3.1.5: Dintel.....</i>	33
<i>Ilustración 3.1.6: Dispensador de columnas.....</i>	34
<i>Ilustración 3.1.7: Disposición de los soportes en el campo.....</i>	35
<i>Ilustración 3.1.8: Posiciones fijas y aleatorias, de los elementos columna libres.....</i>	36
<i>Ilustración 3.1.9: Configuración inicial.....</i>	37
<i>Ilustración 3.1.10: Configuración desplegada.....</i>	37
<i>Ilustración 3.1.11: Distribución de alturas.....</i>	38
<i>Ilustración 3.1.12: Vista posterior y delantera del robot Iron-Paco.....</i>	43
<i>Ilustración 4.1.1: Estructura cerrada.....</i>	44
<i>Ilustración 4.1.2: Base con motores, raíles, ratones y rampa, ensamblados... </i>	45
<i>Ilustración 4.1.3: Bandeja de control.....</i>	46
<i>Ilustración 4.1.4: Bandeja de potencia.....</i>	46
<i>Ilustración 4.1.5: Microrrobot con las paredes abiertas.....</i>	47
<i>Ilustración 4.2.1: Clasificación de sistemas de dirección motriz.....</i>	48
<i>Ilustración 4.2.2: Distribución de los elementos del sistema motriz.....</i>	49
<i>Ilustración 4.2.1.1.1: Rueda HYPER HOCKEY PRO 250.....</i>	50
<i>Ilustración 4.2.1.1.2: Vistas de los casquillos.....</i>	50
<i>Ilustración 4.2.1.2.1: Rueda loca tipo bola.....</i>	51
<i>Ilustración 4.2.1.2.1: Rueda loca lateral con su estructura de acero.....</i>	51
<i>Ilustración 4.2.2.1: Motor Bernio MR 615 30 Q con una reductora de 1/16....</i>	52
<i>Ilustración 4.3.1.1 : Motor cinta transportadora de CC.....</i>	54
<i>Ilustración 4.3.2.1: Circuito interno de un servo.....</i>	54
<i>Ilustración 4.3.2.2: Dimensiones servo Futaba S3003.....</i>	55
<i>Ilustración 4.3.2.3: Ejemplos de ángulos de un servo.....</i>	56
<i>Ilustración 5.1.1.1: Batería NPH5-12 de YUASA.....</i>	59



<i>Ilustración 5.1.1.2: Detalle conector de la batería NPH5-12 de YUASA.....</i>	59
<i>Ilustración 5.1.2.1: Diagrama de conexión del regulador LM2599S.....</i>	60
<i>Ilustración 5.1.2.2: Circuito para obtener 5 V a la salida mediante el regulador LM2599S-5.0.....</i>	61
<i>Ilustración 5.1.2.3: Circuito para obtener 7 V a la salida mediante el regulador LM2599S-ADJ.....</i>	61
<i>Ilustración 5.1.2.4: Placas de potencia de 5 V y 7 V mediante reguladores LM2599S.....</i>	62
<i>Ilustración 5.1.3.1: Esquema de conexión del driver LMD18200T.....</i>	63
<i>Ilustración 5.1.3.2: Diagrama de bloques del driver LMD18200T.....</i>	63
<i>Ilustración 5.1.3.3: Placa de drivers.....</i>	64
<i>Ilustración 5.2.1: Placa base TS-7350.....</i>	65
<i>Ilustración 5.2.2: Placa de control basada en el microcontrolador 8052.....</i>	65
<i>Ilustración 5.3.1: Esquema de acondicionamiento para sensores infrarrojos.....</i>	66
<i>Ilustración 5.3.2: Placa simple de acondicionamiento de señal.....</i>	67
<i>Ilustración 5.3.3: Placa múltiple de acondicionamiento de señal.....</i>	67
<i>Ilustración 5.4.1: Interruptor para el motor asociado a la cinta elevadora....</i>	68
<i>Ilustración 5.4.2: Placa intermedia.....</i>	68
<i>Ilustración 6.1.1: Detalle de la recogida.....</i>	70
<i>Ilustración 6.1.2: Secuencia de recogida.....</i>	71
<i>Ilustración 6.1.3: Componentes del sistema de recogida.....</i>	72
<i>Ilustración 6.2.1: Detalle de la cinta elevadora.....</i>	73
<i>Ilustración 6.2.2: Vista lateral de la cinta elevadora y su motor de CC.....</i>	74
<i>Ilustración 6.2.3: Estructura del robot.....</i>	75
<i>Ilustración 6.2.4: Vista superior de la estructura, y detalle de la varilla.....</i>	75
<i>Ilustración 6.2.5: Detalle de sujeción del eje libre.....</i>	76
<i>Ilustración 6.2.6: Detalle del sistema antidesvío.....</i>	76
<i>Ilustración 6.3.1: Detalle palas de montaje.....</i>	78
<i>Ilustración 6.3.2: Barrera en posición vertical.....</i>	78
<i>Ilustración 6.3.3: Vista posterior con barrera en posición horizontal, y detalle palas de montaje.....</i>	79
<i>Ilustración 6.3.4: Posición inicial de la bandeja para dintel.....</i>	80
<i>Ilustración 6.3.5: Partes del sistema bandeja de dintel.....</i>	81
<i>Ilustración 6.3.6: Sistema retenedor de dintel.....</i>	82
<i>Ilustración 6.3.7: Bandeja de construcción y su estructura.....</i>	82
<i>Ilustración 6.3.8: Detalle de los railes.....</i>	83
<i>Ilustración 6.3.9: Vista inferior de la bandeja y detalle de fleje.....</i>	84
<i>Ilustración 6.3.10: Secuencia de montaje y construcción.....</i>	85
<i>Ilustración 7.1.1.1: Funcionamiento de los sensores de infrarrojos.....</i>	87
<i>Ilustración 7.1.1.1.1: Gráfico salida/distancia para el GP2D12.....</i>	88
<i>Ilustración 7.1.1.1.2: Gráfico salida/distancia para el GP2D120.</i>	88
<i>Ilustración 7.1.1.1.3: Esquema de acondicionamiento para GP2D12 y GP2D120.....</i>	89
<i>Ilustración 7.1.1.1.4: Sensor de infrarrojos GP2D12.....</i>	89
<i>Ilustración 7.1.1.1.5: GP2D12 localizadores de elementos columna.....</i>	91
<i>Ilustración 7.1.1.1.6: GP2D12 para ir paralelo al lateral.....</i>	91
<i>Ilustración 7.1.1.1.7: GP2D12 detector de giro.....</i>	92
<i>Ilustración 7.1.1.1.8: GP2D12 busca-centro derecho.....</i>	93



<i>Ilustración 7.1.1.1.9: GP2D12 localizadores de oponente delanteros.....</i>	93
<i>Ilustración 7.1.1.1.10 : GP2D12 localizadores de oponente traseros.....</i>	94
<i>Ilustración 7.1.1.1.11 : GP2D120 verificador de presencia de ficha.....</i>	95
<i>Ilustración 7.1.1.1.12: GP2D12 detectores de templos.....</i>	95
<i>Ilustración 7.1.2.1: Esquema interno de sensor de fin de carrera.....</i>	96
<i>Ilustración 7.1.2.2: Sensor de fin de carrera.....</i>	96
<i>Ilustración 7.1.2.1.1: Detalle de sensor fin de carrera de la bandeja.....</i>	97
<i>Ilustración 7.1.2.1.2: Detalle de sensor mecánico del dispensador y su placa pulsadora.....</i>	97
<i>Ilustración 7.1.3.1: Esquema de funcionamiento de un encoder.....</i>	98
<i>Ilustración 7.1.3.1.1: Esquema externo del encoder EB50 de Bernio.....</i>	99
<i>Ilustración 7.1.3.1.2: Esquema electrico del encoder EB50 de Bernio.....</i>	99
<i>Ilustración 7.1.3.1.3: Encoder EB50 de Bernio acoplado al motor.....</i>	100
<i>Ilustración 7.1.4.1: Vista inferior de un ratón óptico.....</i>	101
<i>Ilustración 7.1.4.1.1: Interior de la caja contenedora de los ratones.....</i>	102
<i>Ilustración 7.1.4.1.2: Vista inferior de la caja contenedora de los ratones.....</i>	102
<i>Ilustración 7.3.1: Esquema simplificado de la trayectoria, de la primera estrategia, subrutina el equipo verde.....</i>	105
<i>Ilustración 7.3.2: Esquema simplificado de la trayectoria, de la estrategia definitiva, subrrrutina del equipo verde.....</i>	106

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto comenzó con la idea de participar en la competición internacional *Eurobot 2009*, realizada en la ciudad de La Ferté-Bernard, Francia; para ello había que construir un microrobot autónomo capaz de clasificarse entre los tres primeros en la competición nacional, la Copa de España, realizada en la Universidad Politécnica de Alcalá de Henares, Madrid.

El *Eurobot* fue creado por *Planète Sciences*, una asociación dedicada a la promoción de la ciencia y la tecnología, *VM Group*, productora televisiva, y La Ferté-Bernard, ciudad donde se realizó la primera edición de este concurso. Actualmente existe un comité internacional formado por varios órganos de gobierno y gestión encargados del desarrollo de la competición para futuras ediciones.



Ilustración 1.1: Logotipo de Planète Sciences.

Este concurso está enfocado a la participación de asociaciones y centros de estudios para que realicen su propio proyecto, y pretende ser a la vez un punto de encuentro de intercambio de conocimientos científicos y tecnológicos.

Eurobot es una competición internacional de robots autónomos que engloba unas pruebas clasificatorias nacionales celebradas en cada país y una competición final internacional en la que participan equipos de más de 20 países, en su mayor parte europeos. La sede de la fase final es distinta cada año, aunque siempre en Europa. Este año la ciudad de La Ferté-Bernard (Francia) ha sido la elegida para albergar la presente edición.



La construcción y programación del microrobot fue posible gracias a un equipo formado por siete personas. Dos de ellas dedicadas a la programación, una a la tracción y posicionamiento, otra al sistema sensorial, una dedicada a las etapas de potencia y demás placas de control, otra al sistema de recogida elevación y colocación de las piezas, y por ultimo, de lo que trata este proyecto, del ensamblado e implementación de todos los sistemas antes mencionados, los cuales serán descritos a lo largo de este documento. Este desarrollo se llevó a cabo durante siete meses aproximadamente, en el *Laboratorio de Sistemas Inteligentes (L.S.I.)* del departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la *Universidad Carlos III de Madrid*.

La presente memoria comprende el diseño y la realización de todos los elementos que componen este microrobot autónomo.

1.1. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

El contenido de esta memoria se puede clasificar en distintos capítulos, en función de los bloques temáticos que la componen. A continuación, se procederá a la descripción del contenido de cada uno de ellos.

Capítulo 2: Estado del arte

A lo largo de este capítulo se hablará de la historia de la robótica desde sus inicios hasta los últimos avances en este ámbito. También se dará una visión de la historia del concurso *Eurobot* desde sus primeras ediciones hasta la presente edición que es la que ha motivado el presente proyecto.

Capítulo 3: Problema y solución propuesta

Se expondrá en que consiste el concurso *Eurobot 2009* y su normativa. También se explicará a grandes rasgos la estrategia y los sistemas ideados que nos ocuparán a lo largo del proyecto.

Capítulo 4: Estructura, sistema locomotor y actuadores

Se analizará el desarrollo y construcción de la estructura del robot, describiendo las distintas fases de su realización. Además, se describirán los elementos del sistema locomotor y su distribución.

Se comentarán los actuadores escogidos y sus principales características.

Capítulo 5: Sistema de alimentación y electrónica

Se describirán las distintas etapas de potencia necesarias para la alimentación de los sistemas desarrollados, incluyendo la batería, además de todos los tipos de placas, su finalidad y sus componentes principales.



Capítulo 6: Sistema de construcción

Se procederá a la descripción de los distintos subsistemas que engloban la construcción, así como su desarrollo, componentes, su finalidad y situación dentro del robot. También se comentarán los problemas detectados y las soluciones alcanzadas para aumentar la efectividad de estos.

Capítulo 7: Sensorización y control

En este capítulo se englobarán todos los sistemas necesarios para la automatización del robot, tales como el sistema sensorial, los tipos de sensores que lo componen y la información que deben transmitir a los elementos de control. Además se incluirá también la estrategia llevada a cabo y los bucles de control que la describen.

Capítulo 8: Resultados, conclusiones y mejoras

Se extraerán las conclusiones pertinentes y se concretarán algunas posibles mejoras del robot, aplicables a las posteriores ediciones del concurso.

Capítulo 9: Presupuesto

En este capítulo se recopilan los costes derivados del diseño y la construcción del microrobot desarrollado para este proyecto.

Capítulo 10: Bibliografía

Se detallarán aquí las distintas fuentes y referencias de información utilizadas en este proyecto.

Anexos

Se detallarán distintos aspectos de todo el microrobot, aportando documentación de interés.



Capítulo 2

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA

Según la real academia de la lengua española la palabra robótica significa:
“La técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales” [4].

Pero no siempre se ha conocido como tal. El primer autómatas aparece en el año 1500 a. C. Amenhotep, hermano de Hapu, construye una estatua de Memnon, el rey de Etiopía, que emite sonidos cuando la iluminan los rayos del sol al amanecer. Lo que nos lleva a pensar que en un primer momento de la historia, la “robótica” apareció como una falsa muestra de poder divino con el que se podía dar vida a lo inerte. También los Egipcios, dotaban de brazos a algunas estatuas, que movidos por los sacerdotes, simulaban dar vida a los dioses que representaban para el asombro de los fieles [5].

En los siglos posteriores aparecen diversos autómatas, con diferentes funciones pero con la misma finalidad, la de entretener. Así, se encuentran diferentes tipos de pájaros movidos por vapor, orquestas y teatrillos, entre otros [5].

En la era moderna, y de la mano de la revolución industrial se genera una necesidad de aumentar la producción y rentabilizar inversiones, lo que lleva a una rápida evolución en lo referente al uso y la fabricación o creación de autómatas [5].

Actualmente casi todo el mundo sabe o intuye qué es un robot. Es frecuente encontrar una máquina que realiza un trabajo o tarea que facilita o sustituye las labores que antes realizaban las personas. En una época en evolución permanente se necesita cada vez más a estas máquinas, que ayudan a avanzar hacia unos objetivos difícilmente alcanzables sin su colaboración en unos casos, y sin su trabajo en otros. Son capaces de adaptarse y realizar trabajos de todo tipo: peligrosos, en situaciones adversas, de gran esfuerzo, físico, de precisión, repetitivos, etc.



La pujanza de diversas ramas de nuestra sociedad como la industria (a la que se debe el gran impulso de la robótica), la electrónica, la medicina, la investigación, la vigilancia, usos domésticos, militares, etc. se fundamentan en gran medida en el uso de robots y su desarrollo.

La robótica se sirve de muchas otras aplicaciones, como las matemáticas, la informática, la electrónica, la mecánica, la inteligencia artificial y de nuevos materiales. Las ultimas generaciones de estas ramas han provocado la disminución de los costes de producción y del tamaño de los componentes de una forma notoria. Y todo esto ha sido el caldo de cultivo para la proliferación de los robots [7].

El ciudadano de hoy ha estado viviendo en los últimos años unos avances técnicos en constante evolución. El elemento más relevante de esta época es, sin duda, el ordenador.

2.2. CRONOLOGÍA DE LA ROBÓTICA

1500 a.C.	Amenhotep, hermano de Hapu, construye una estatua de Memon, el rey de Etiopía, que emite sonidos cuando la iluminan los rayos del sol al amanecer.
500 a.C.	En el 500 a. C., King-su Tse, en China, inventa una urraca voladora de madera y bambú y un caballo de madera que saltaba.
400 a.C. - 397 a.C.	Entre el 400 y 397 a. C., Archytar de Tarento construye un pichón de madera suspendido de un pivote, el cual rotaba con un surtidor de agua o vapor, simulando el vuelo. Archytar es el inventor del tornillo y la polea.
300 a.C. - 270 a.C.	Entre el 300 y 270 a. C., Cresibio inventa la clepsidra (reloj de agua) y un órgano que funcionaba con agua.
210 a.C.	Entre el 220 y 200 a. C., Filon de Bizancio inventa un autómeta acuático y la catapulta repetitiva.
206 a.C.	En el año 206 a. C., fue encontrado el tesoro de Chin Shih Hueng Ti por el primer emperador Han, que consistía en una orquesta mecánica de muñecos.
Año 0	
62 d.C	En el año 62 d. C., Hero de Alejandría crea un tratado de autómetas, un famoso registro de aplicaciones de la ciencia que pueden ser demostradas por medio de un autómeta, así como un teatro automático, en el cual, las figuras que se encuentran montadas en una caja, cambian de posición ante los ojos de los espectadores: pájaros cantores, trompetas que suenan, medidores de la fuerza del vapor, animales que beben, termoscopios, sifones y máquinas que operaban con monedas.
770 dC	En el 770 d. C., Yang Wu-Lien construye un mono que extiende sus manos y dice “¡Limosna! ¡Limosna!”, guardando su recaudación en una bolsa cuando alcanza un peso determinado.



1050 d.C.	El sabio príncipe hindú Bhoja, escribe, en el año 1050, el Samarangana-Sutradhara, que incluye comentarios sobre la construcción de máquinas o yantras.
1204 d.C. - 1272 d.C.	Alberto Magno (1204 - 1272) crea un sirviente mecánico. La historia cuenta que era un especie de mayordomo de hierro, cristal y cuero capaz de andar, abrir la puerta y saludar a los visitantes, aunque por desgracia las referencias que han llegado hasta nuestros tiempos no están suficientemente documentadas.
1214 d.C.	Roger Bacon (1214 - 1294) construye, después de 7 años de investigaciones, una cabeza que habla.
1235 d.C.	En el año 1235, Villard d'Honnecourt escribe un libro de esbozos que incluye secciones de dispositivos mecánicos, como un ángel autómatas, e indicaciones para la construcción de figuras humanas y animales.
1352 d.C.	Reloj con forma de gallo que canta en la catedral de Strasbourg, que funcionó desde 1352 hasta 1789.
1500 d.C.	Leonardo Da Vinci construye en el año 1500 un león automático en honor de Luis XII que actúa en la entrada del Rey de Milán.
1576 d.C.	Salomón de Caus (1576 - 1626) construye fuentes ornamentales y jardines placenteros, pájaros cantarines e imitaciones de los efectos de la naturaleza.
1640 d.C.	En 1640, René Descartes inventa un autómatas al que se refiere como "mi hijo Francine".
1662 d.C.	En 1662, se abre en Osaka el teatro Takedo de autómatas.
1501 d.C. - 1585 d.C.	En España, Juanelo Turriano (1501-1585) construye un autómatas de madera conocido como "El hombre de palo" para el emperador Carlos V. Este autómatas era capaz de andar, además de mover la cabeza, los ojos, la boca y los brazos. Cuenta la leyenda que este ingenio recorría las calles de Toledo pidiendo limosna para su inventor haciendo una reverencia cuando la conseguía. La época de máximo esplendor en el desarrollo de autómatas tuvo lugar a lo largo del siglo XVIII, en el cual, varios relojeros aprovecharon sus conocimientos para la construcción de autómatas, cuyo destino era reproducir lo más fielmente posible los movimientos y comportamientos de los seres vivos.
1709 d.C. - 1782 d.C.	Jacques de Vaucanson (1709-1782) quiso demostrar a través de sus autómatas algunas funciones básicas del organismo, tales como la respiración, la circulación y la digestión. Sus autómatas más famosos son "El flautista", "El tamborilero" y "El pato con aparato digestivo", el cual era capaz de batir las alas, comer y realizar completamente la digestión [15].
1801 d.C	J. Jaquard inventa su telar, que resulta ser una máquina programable para la urdimbre.
1805 d.C	H. Maillardet construye una muñeca mecánica capaz de hacer dibujos.



1946 d.C	El inventor americano G.C Devol desarrolla un dispositivo controlador que podía registrar señales eléctricas por medios magnéticos y reproducirlas para accionar un máquina mecánica. La patente estadounidense se emitió en 1952.
1948 d.C.	R.C.Goertz del Argone National Laboratory desarrolla, con el objeto de manipular elementos radioactivos sin riesgo para el operador, el primer telemanipulador, que consiste en un dispositivo mecánico del tipo maestro-esclavo. El manipulador maestro reproducía fielmente los movimientos del operador, el cual observaba a través de un cristal el resultado de las acciones, y sentía las fuerzas que el dispositivo esclavo ejercía sobre el entorno. Unos años después Goertz aprovechó la tecnología electrónica y los servocontroles, sustituyendo la transmisión mecánica y desarrollando un telemanipulador con servocontrol bilateral.
1951 d.C	Trabajo de desarrollo con teleoperadores (manipuladores de control remoto) para manejar materiales radiactivos. Patente de Estados Unidos emitidas para Goertz (1954) y Bergsland (1958).
1952 d.C	Una máquina prototipo de control numérico fue objetivo de demostración en el Instituto Tecnológico de Massachusetts después de varios años de desarrollo.
1958 d.C.	Otro pionero en la telemanipulacion fue Ralph Moser, que trabajaba para la General Electric. En 1958 crea un dispositivo llamado “Handy-Man”.
1961 d.C	Un lenguaje de programación de piezas denominado APT (Automatically Programmed Tooling) se desarrolla posteriormente y se publica en 1961.
1954 d.C	El inventor británico C. W. Kenward solicita su patente para el diseño de un robot. Patente británica emitida en 1957.
1954 d.C	G.C. Devol desarrolla diseños para Transferencia de artículos programada. Patente emitida en Estados Unidos para el diseño en 1961.
1959 d.C	En este año se introduce el primer robot comercial por Planet Corporation. Estaba controlado por interruptores de fin de carrera.
1960 d.C	Se introduce el primer robot “Unimate”, basado en la transferencia de artic. programada de Devol. Se utilizan los principios de control numérico para el control del manipulador. Era un robot de transmisión hidráulica.
1961 d.C	Un robot Unimate se instala en la Ford Motors Company para atender una máquina de fundición de troquel.
1966 d.C	Trallfa, una firma noruega, construye e instala un robot de pintura por pulverización.
1968 d.C	Un robot móvil llamado “Shakey” se desarrolla en el SRI (Standford Research Institute). Estaba provisto de diversidad de sensores, así como de una cámara de visión y sensores táctiles y podía desplazarse por el suelo.



1971 d.C	El "Standford Arm", un pequeño brazo de robot de accionamiento eléctrico, se desarrolla en la Standford University.
1973 d.C	Se desarrolla en SRI el primer lenguaje de programación de robots del tipo de computadora para la investigación con la denominación WAVE. Fue seguido por el lenguaje AL en 1974. Los dos lenguajes se desarrollaron posteriormente en el lenguaje VAL, comercial para Unimation por Víctor Scheinman y Bruce Simano.
1974 d.C	ASEA introduce el robot Irb6 de accionamiento completamente eléctrico.
1974 d.C	Kawasaki, bajo licencia de Unimation, instala un robot para soldadura por arco para estructuras de motocicletas.
1974 d.C	Cincinnati Milacron introduce el robot T3 con control por computadora.
1975 d.C	El robot "Sigma" de Olivetti se utiliza en operaciones de montaje, una de las primitivas aplicaciones de la robótica al montaje.
1976 d.C	Se desarrolla en los laboratorios Charles Stark Draper Labs en Estados Unidos un dispositivo de Remopte Center Compliance (RCC) para la inserción de piezas en la línea de montaje.
1978 d.C	El robot T3 de Cincinnati Milacron se adapta y programa para realizar operaciones de taladro y circulación de materiales en componentes de aviones, bajo el patrocinio de Air Force ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing).
1979 d.C	Desarrollo del robot tipo SCARA (Selective Compliance Arm for Robotic Assambly) en la Universidad de Yamanashi en Japón para montaje. Varios robots SCARA comerciales se introdujeron hacia 1981.
1980 d.C	Un sistema robótico de captación de recipientes es objeto de demostración en la Universidad de Rhode Island. Con el empleo de visión de máquina, el sistema era capaz de captar piezas en orientaciones aleatorias y posiciones fuera de un recipiente.
1981 d.C	Se desarrolla en la Universidad de Carnegie- Mellon un robot de impulsión directa. Utilizaba motores eléctricos situados en las articulaciones del manipulador sin las transmisiones mecánicas habituales empleadas en la mayoría de los robots.
1982 d.C	IBM introduce el robot RS-1 para montaje, basado en varios años de desarrollo interno. Se trata de un robot de estructura de caja que utiliza un brazo constituido por tres dispositivos de deslizamiento ortogonales. El lenguaje del robot AML, desarrollado por IBM, se introdujo también para programar el robot SR-1.
1983 d.C	Informe emitido por la investigación en Westinghouse Corp. bajo el patrocinio de National Science Foundation sobre un sistema de montaje programable adaptable (APAS), un proyecto piloto para una línea de montaje automatizada flexible con el empleo de robots.
1984 d.C	Robots 8. La operación típica de estos sistemas permitía que se desarrollaran programas de robots utilizando gráficos interactivos en una computadora personal y luego se cargaban en el robot.



Se puede observar que durante prácticamente 3000 años los “inventos” relacionados con la robótica estaban dirigidos al entretenimiento. Estas máquinas funcionaban generalmente por medio de movimientos ascendentes de aire o agua caliente. El vertido progresivo de un líquido provocaba rupturas de equilibrio (o bien la caída de un peso) en diversos recipientes provistos de válvulas. Otros mecanismos se basaban en palancas o contrapesos. Mediante sistemas de este tipo se construían pájaros artificiales que podían “cantar” o “volar”, o puertas que se abrían solas. Las construcciones de la escuela de Alejandría se extendieron por todo el Imperio Romano y posteriormente por el mundo árabe. En el siglo XIII, Al-Djazari apareció como el heredero de todas ellas con la publicación de su “Libro del conocimiento de los procedimientos mecánicos” [8][7].

2.3. LA ROBÓTICA EN LA ACTUALIDAD

En el año de 1920, el escritor de origen checoslovaco Karel Capek, publicó su novela RUR (Russum’s Universal Robots), la cual fue representada en el Teatro Nacional de Praga el 25 de Enero de 1921. Esta obra trata de dos pequeños seres artificiales de forma humana que responden perfectamente a las órdenes de su creador, aunque al final acaban rebelándose contra él. Para referirse a estos seres, el autor les llamó robots, derivación del vocablo checo “robota”, que significa “trabajo obligatorio”. Es así como surge la palabra robot para referirse a los autómatas mecánicos de aquellas épocas. Y a partir de esta novela se llamará robots a los autómatas [9].

Existe un gran recelo hacia los robots debido a la evolución tan acelerada que se ha proyectado sobre ellos en muchas de las novelas de ciencia-ficción. Y aunque muchas de estas novelas no están tan fuera de la realidad, no hay por que tener miedo al desarrollo de los robots, sino todo lo contrario, ya que estos existen para poder facilitar las tareas de los humanos. En la obra de Isaac Asimov, "Yo robot" publicada en 1940, éste postula tres leyes que los robots deberán seguir:

- 1.** Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
- 2.** Un robot debe obedecer las ordenes que le son dadas por un ser humano excepto cuando estas ordenes están en contradicción con la primera ley.
- 3.** Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley [10].

En la actualidad los robots son usados para realizar desde tareas peligrosas y difíciles hasta operaciones repetitivas y aburridas que harían descender de una forma drástica el rendimiento de cualquier ser humano. El mayor campo de operaciones de la robótica actual es el sector industrial, ya que hoy en día cualquier fábrica que quiera ser competitiva ha de estar automatizada.



La industria del automóvil es una de las que más robots emplea en sus cadenas de montaje. En ellas, estos ingenios se encargan de reemplazar a los humanos en tareas repetitivas tales como soldadura, manipulación y pintura, elevando el nivel de productividad de la planta y minimizando los riesgos para los trabajadores.

Pero no solo de la industria vive la robótica, ya que el uso de robots se ha extendido a otros campos con mucho éxito: limpieza de residuos tóxicos, exploración espacial y marina, minería, búsqueda y rescate de personas, localización de minas terrestres, actividades peligrosas, etc...

Un ejemplo del uso de robots en tareas peligrosas puede ser el trabajo realizado en los TEDAX (técnicos especialistas en desactivación de artefactos explosivos). Los modelos utilizados en este cuerpo de seguridad son robots teleoperados, es decir, están guiados a control remoto por un operador destinado a ello. Dichos modelos están dotados de diferentes mecanismos sensores que proporcionan información al operador, gracias a la cual éste es capaz de manipular objetos con gran precisión a una distancia que garantiza la absoluta seguridad del operador.

También en los últimos años se ha logrado un gran avance en los robots dedicados a la medicina, diseñando robots que son utilizados en procedimientos de cirugía invasiva mínima. La compañía *Intuitive Surgical* es la desarrolladora del robot quirúrgico "Da Vinci", uno de los más avanzados en su campo. Este robot cuenta con cuatro brazos articulados, cada uno de ellos dotado con diferente instrumental y cámaras, que permiten al cirujano realizar intervenciones quirúrgicas de gran precisión minimizando los riesgos para el paciente.

Por último habría que destacar el desarrollo de robots humanoides por parte de la compañía Honda desde 1986, que ha llegado a su punto álgido con el diseño de su modelo ASIMO, considerado el robot humanoide más avanzado del mundo. ASIMO es un robot humanoide autónomo dotado de diversos sistemas sensores destinados a la recogida de información del entorno para reaccionar de la manera adecuada en todo momento. Su sistema locomotor está tan perfeccionado que es capaz de bailar, estrechar la mano de su interlocutor, subir y bajar escaleras, chutar balones y hasta transportar objetos (como bandejas) y dejarlos sobre una determinada superficie.

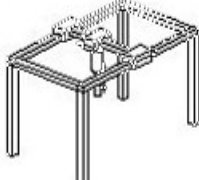
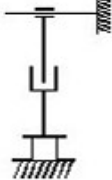
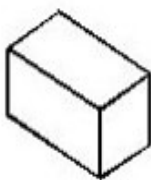

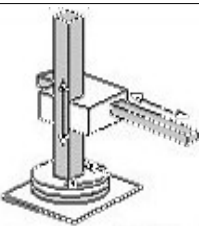
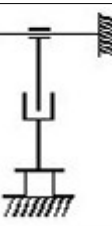


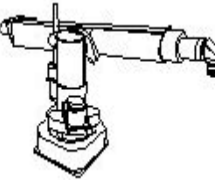



Algunas tecnologías desarrolladas por Honda para el robot ASIMO están siendo utilizadas para la creación de nuevos ingenios que hagan la vida más fácil a los seres humanos. Un par de ejemplos son el exoesqueleto creado por Honda para ayudar a caminar a personas de movilidad reducida y el traje-robot diseñado por la Universidad de Agricultura y Tecnología de Tokio ideado para ayudar a levantar peso a los granjeros, reduciendo el esfuerzo sobre las articulaciones y la espalda en un 50%.

2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS

Existen muchas maneras de clasificar los robots industriales ya que se puede realizar una clasificación diferente por cada característica o destino de los mismos. Aquí se presentan, de manera global, las clasificaciones más utilizadas:

- I. Por **estructura mecánica**,
- II. Por el **tipo de control**,
- III. Por el **tipo de trayectoria**,
- IV. Por la **aplicación** a la que están destinados [11].

I.- Clasificación por estructura mecánica

TIPO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPIO	ESTRUCTURA CINEMÁTICA	ESPACIO DE TRABAJO	EJEMPLO
Robot cartesiano	Robot donde el brazo está constituido por tres articulaciones prismáticas donde los ejes están dispuestos según un sistema de coordenadas cartesianas.				
Robot cilíndrico	Robot donde el brazo está constituido por, al menos, una articulación rotativa y una articulación prismática donde los ejes están dispuestos según un sistema de coordenadas cilíndricas.				
Robot Esférico (o polar)	Robot cuyos ejes forman un sistema de coordenadas polar.				

<p>Robot SCARA(*)</p>	<p>Robot que tiene dos articulaciones rotativas con ejes paralelos, para proporcionar conformidad en un plano dado.</p>				
<p>Robot articulado</p>	<p>Robot cuyo brazo tiene al menos articulaciones rotativas</p>				
<p>Robot paralelo</p>	<p>Robot donde el brazo (ejes principales) está constituido por tres articulaciones prismáticas concurrentes.</p>				

(*) SCARA: Selectively Compliant Arm for Robotic Assembly [11].

II.- Clasificación por el tipo de control

Atendiendo al tipo de control, la clasificación más elemental que suele realizarse es la siguiente:

- i. **Servo-controlados.** Los robots servo-controlados se gobiernan utilizando la información procedente de sensores que monitorizan continuamente la velocidad y posición de los ejes del robot y componentes asociados. La realimentación que supone esta información, se compara con la información con la que el robot ha sido pre-adiestrado y que se encuentra programada en los dispositivos de memoria del robot.
- ii. **No servo-controlados.** Los robots no servo-controlados carecen de realimentación y sus ejes se controlan mediante un sistema de topes mecánicos y finales de carrera [11].



III.- Clasificación por el tipo de trayectoria

Los robots industriales pueden ser programados desde para recorrer simplemente una distancia, hasta para desempeñar sus operaciones preprogramadas con diferentes tipos de trayectorias generadas a través de diferentes técnicas de control [11].

Existen tres tipos diferentes de trayectoria posibles:

- trayectoria Punto-a-Punto,
- **trayectoria controlada,**
- **trayectoria continua,**

lo cual da lugar a los correspondientes tipos de robots [11]:

- **Robot de trayectoria Punto-a-Punto**

Los robots controlados de esta manera son programados para moverse desde un punto discreto hasta otro, dentro del entorno de trabajo del robot. En el modo de operación automática, la trayectoria real recorrida por el robot variará ligeramente, debido a variaciones en la velocidad y geometría de las articulaciones localizaciones espaciales de los puntos.

Esta diferencia entre las trayectorias es difícil de predecir y por consiguiente puede ocasionar un peligro potencial para la seguridad de las personas y los equipos [11].

- **Robot de trayectoria controlada**

La trayectoria o el modo de movimiento asegura que el final del brazo del robot seguirá una trayectoria y orientación predecible (controlada) ya que el robot viajará de punto a punto. Las transformaciones entre coordenadas requeridas para el manejo de este hardware, son calculadas por el ordenador que dirige el sistema de control del robot.

Es menos probable que este tipo de programación presente peligros para la seguridad de las personas o los equipos [11].

- **Robot de trayectoria continua**

Un robot de trayectoria continua controlada es aquel cuya trayectoria se controla mediante el almacenamiento de una gran sucesión de puntos espaciales en memoria durante una secuencia de aprendizaje. Durante este tiempo, y mientras el robot se mueve, las coordenadas de los puntos de cada eje en el espacio son monitorizadas de manera continua en una base de tiempo fija (por ejemplo 60 veces por segundo o más) y almacenadas en la memoria del ordenador del sistema de control. Cuando el robot opera en modo de automático, se carga el programa de la memoria y se genera una trayectoria duplicada [11].

IV.- Clasificación por aplicación

En lo referente a las aplicaciones, se pueden destacar los siguientes grandes grupos de robots:

- **Robots de soldadura.**
- **Robots de ensamblado.**
- **Robots de manipulado.**
- **Robots de pintura.**

En el apartado Aplicaciones se puede encontrar una información más detallada sobre las aplicaciones de los robots. Así mismo en el apartado de Parque Industrial de Robots se encuentran algunos datos sectoriales según aplicaciones [11].

2.5 EUROBOT

El Eurobot es un concurso internacional de microrobótica para aficionados. Está enfocado hacia equipos de jóvenes, pudiendo ser clubes independientes o grupos de estudiantes con ganas de llevar a cabo un proyecto. Su finalidad es atraer a tantas personas como sea posible hacia la robótica y promover la práctica de esta ciencia.



Ilustración 2.5.1: Logotipo del Eurobot.

La primera edición de “Eurobot” tuvo lugar en Francia, en el año 1998, compitiendo en ella 5 países representados en total por 9 equipos. Aunque el “Eurobot” tiene lugar en Europa, países de otros continentes ya han participado en el concurso. En 2004, 21 países, representados por 205 equipos se implicaron en este concurso científico y técnico, pasando por unas clasificaciones nacionales y una final internacional. A lo largo de los años la competición ha crecido tanto en importancia como en número de participantes, alcanzando en la edición de 2008 una participación de 400 equipos de 27 países, tanto europeos como de otras partes del mundo.

Cada país puede estar representado en la fase final por un máximo de tres equipos, por lo que se deben hacer etapas clasificatorias nacionales para decidir los equipos representantes.

La competición previa clasificatoria de España se realiza en el transcurso del Hispabot, que tiene lugar en la Universidad de Alcalá de Henares unas semanas antes del Eurobot. En dicho evento se realizan además otras competiciones de microrobots como son “Sumo”, “Velocistas”, “Laberinto” y “Robocup junior”.

Cada año, este concurso propone un reto diferente a resolver, lo que hace de esta competición una de las más complicadas entre las existentes hoy en día en el campo de la microrobótica, y a la vez uno de los más interesantes y divertidos. Aunque siempre mantiene ciertas normas comunes como un tiempo limitado para la resolución de la prueba, los microrobots deberán ser autónomos y se enfrentarán siempre contra otro.

Del 21 al 24 de Mayo ha tenido lugar la final de Eurobot 2009 en Ferté-Bernard (Francia). La prueba se ha denominado "Los Templos de la Atlántida", y la competición ha consistido en la confrontación entre dos robots de equipos distintos (verde o rojo) que se encargan de recolectar discos y rectángulos del mismo color, piezas con las que van edificando una estructura donde se mide la estabilidad y el correcto posicionamiento. Para elegir al ganador de Eurobot 2009 se ha seguido un sistema parecido al de la Copa Mundial de Fútbol. Para comprender la dificultad de este concurso se repasarán las pruebas celebradas en el concurso Eurobot a lo largo de su Historia.

1998. Fútbol

Las competición era similar a un partido de fútbol jugado con más de una pelota. Sobre un terreno de juego totalmente plano en el que estaban distribuidas ocho pelotas de tenis, dos robots enfrentados tenían que marcar al rival el máximo número de tantos posibles. La final la disputaron nueve equipos de cinco países diferentes.



Ilustración 2.5.2: Eurobot 1998. Fútbol.

1999. Ataque al castillo

El campo se dividió en dos partes separadas por un barranco y unidas mediante dos puentes. En cada lado del campo se alzaba un castillo construido a base de cilindros de madera apilados de modo que formasen torres. El objetivo del juego era derribar el castillo del contrario ya fuese por contacto directo o mediante el uso de pelotas de tenis que se encontraban repartidas por el terreno de juego. Se presentaron ocho equipos de cinco países diferentes.

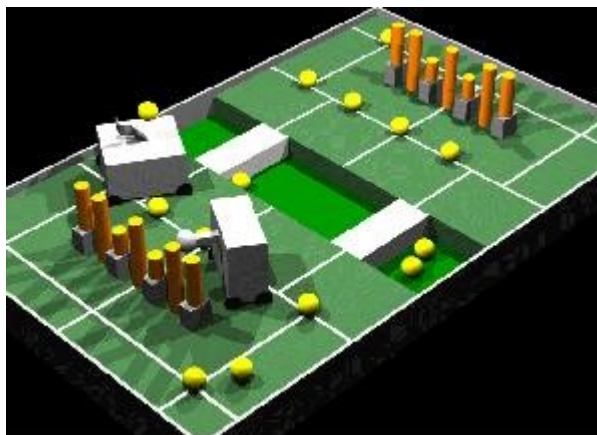


Ilustración 2.5.3: Eurobot 1999. Ataque al castillo.

2000. Parque de atracciones

Para la edición de ese año se diseñó un terreno de juego de superficie montañosa. Sobre el se dispusieron diez globos, cinco azules y cinco amarillos, y se dividió el campo en dos partes. Cada equipo debía reventar los globos del equipo contrario, estando prohibido el uso de proyectiles. Además la limitación impuesta al tamaño máximo de los robots les impedía reventarlos de lejos. Se presentaron doce equipos de siete países diferentes.



Ilustración 2.5.4: Eurobot 2000. Parque de atracciones.

2001. Odisea en el espacio

En esta edición se dispuso un terreno de juego totalmente plano que representaba el espacio y sobre él se colocaron una serie de cilindros a modo de planetas. Los robots debían conquistar más planetas que el contrario depositando banderas de su color sobre los cilindros, reclamándolos de esta manera para su equipo. Se presentaron diecinueve equipos de doce países diferentes.

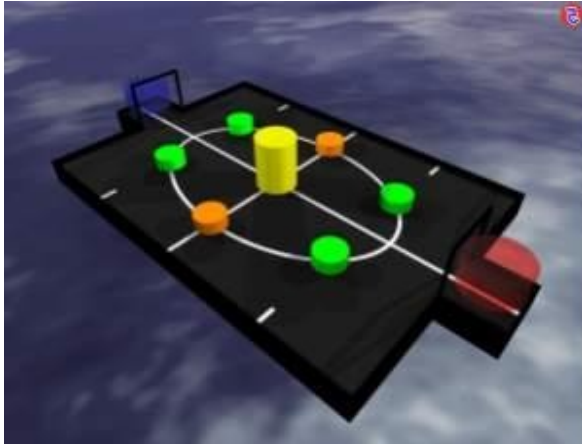


Ilustración 2.5.5: Eurobot 2001. Odisea en el espacio.

2002. Billar aéreo

En esta ocasión se dispuso un terreno de juego rectangular totalmente plano dotado de unos agujeros a modo de troneras de billar en cada esquina. Sobre el tablero se colocaban al azar ocho bolas rojas y cuatro negras siguiendo una simetría central. Cada robot comenzaba el partido en un extremo del terreno de juego y tenía que introducir las bolas negras en las troneras de su lado y las rojas en las del lado opuesto. Se presentaron veintisiete equipos de diecisiete países distintos.

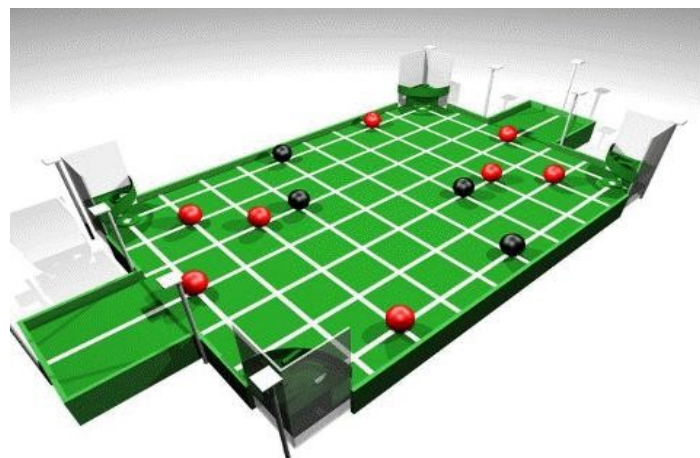


Ilustración 2.5.6: Eurobot 2002. Billar aéreo.

2003. Cara o cruz

En ese año, sobre un terreno de juego rectangular se colocaron una serie de discos de dos tipos diferentes: de doble color y de color único. Los discos de doble color tenían una cara verde y la otra roja, y los de color único, podían ser verdes o rojos. A cada equipo se le asignaba un color, y al final del partido ganaba el robot que hubiera puesto cara arriba el mayor número de discos de su color. Se presentaron treinta y dos equipos de diecinueve países distintos.

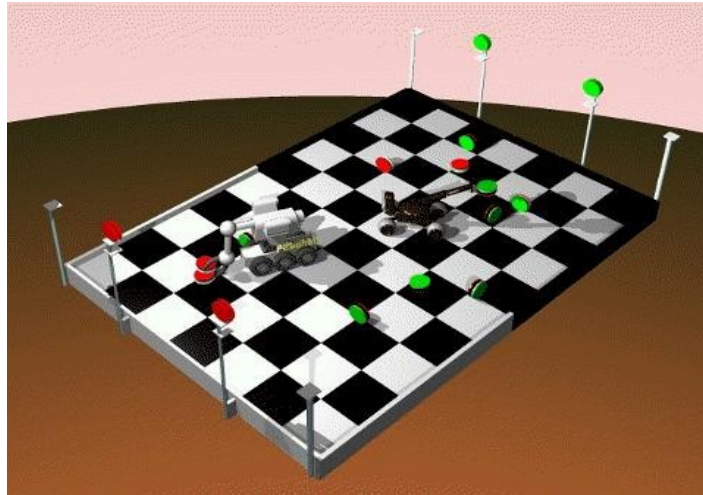


Ilustración 2.5.7: Eurobot 2003. Cara o cruz.

2004. Rugby de cocos

El terreno de juego diseñado para ese año era bastante peculiar: se trataba de un campo rectangular en el que se encontraban situadas una serie de palmeras cargadas de cocos; además se colocaron dos porterías elevadas y una zona de ensayo en la superficie del terreno. El objetivo de la prueba de ese año era recoger los cocos que estaban distribuidos de manera aleatoria por el terreno de juego, tanto por el suelo como colgados de las palmeras, y marcar puntos lanzándolos a la portería o colocándolos en la zona de ensayo del lado del rival. Se presentaron cuarenta y un equipos de veintiún países distintos.

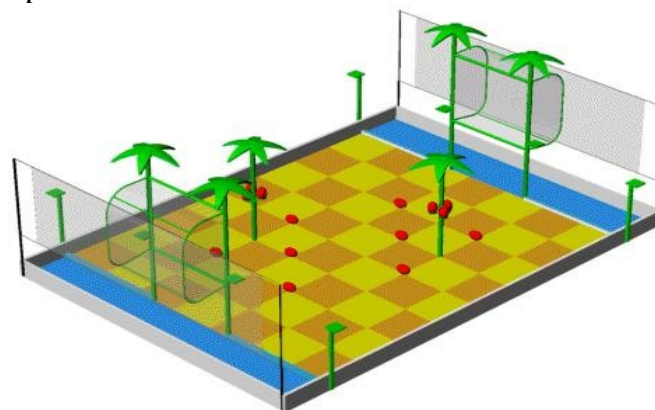


Ilustración 2.5.8: Eurobot 2004. Rugby de cocos.

2005. Juego de bolos

Al igual que en la prueba de 1999 se dividió el terreno de juego en dos partes, separadas esta vez por un río, que se comunicaban entre sí por dos puentes de colocación aleatoria. En el centro del río existían dos carriles que permitían derribar los bolos del otro lado empujando una pelota. El objetivo de la prueba era derribar los bolos del contrario y proteger los propios. Se presentaron cincuenta equipos de veintidós países diferentes.

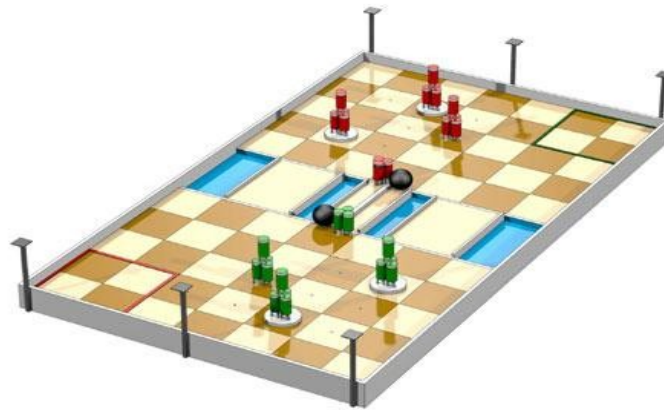


Ilustración 2.5.9: Eurobot 2005. Juego de bolos.

2006. Golf divertido

En esta ocasión el campo tiene multitud de hoyos donde los robots de cada equipo deben introducir pelotas de golf "blancas". Además existen pelotas "negras" que pueden introducirse en los hoyos del campo contrario, para evitar que el contrincante puntúe. Las pelotas de golf saltan al terreno de juego al cerrar un contacto situado en unos postes sobre terreno de juego. El tiempo total para la prueba era de un minuto y medio y cada equipo solo podía utilizar un robot.

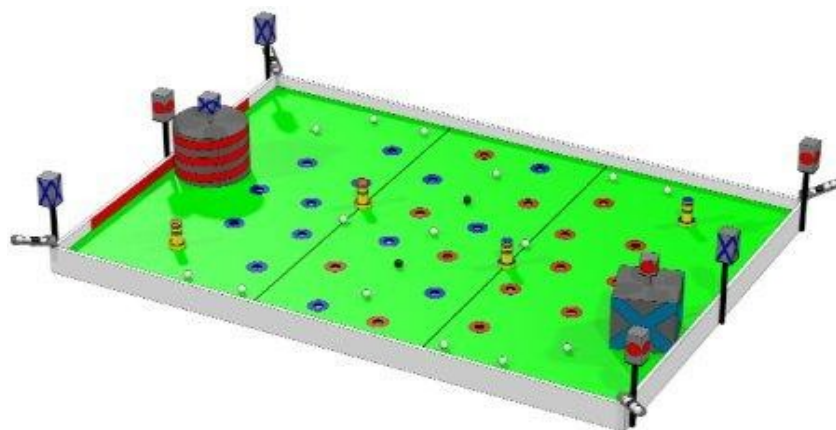


Ilustración 2.5.10: Eurobot 2006. Golf divertido.

2007. Rally de reciclado

Consistió en clasificar una serie de desechos (botellas de plástico, latas de refrescos y pilas) cada uno en su cesta correspondiente para su reciclado posterior. Ganó el robot que más desechos clasificó. El tiempo total para la prueba fue de un minuto y medio y cada equipo solo pudo utilizar un robot.

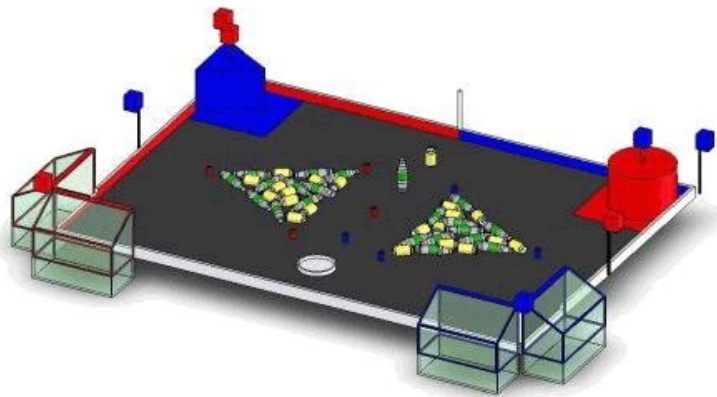


Ilustración 2.5.11: Eurobot 2007. Rally de reciclaje.

2008. Misión a Marte

Los robots debían encontrar pruebas de vida y llevarlas a la Tierra para analizarlas. El robot que recogiera un número mayor de organismos, depositados correctamente en los contenedores sería el ganador.

La final de Eurobot 2008 se celebró del 21 al 25 de mayo de 2008 en Heidelberg, Alemania.

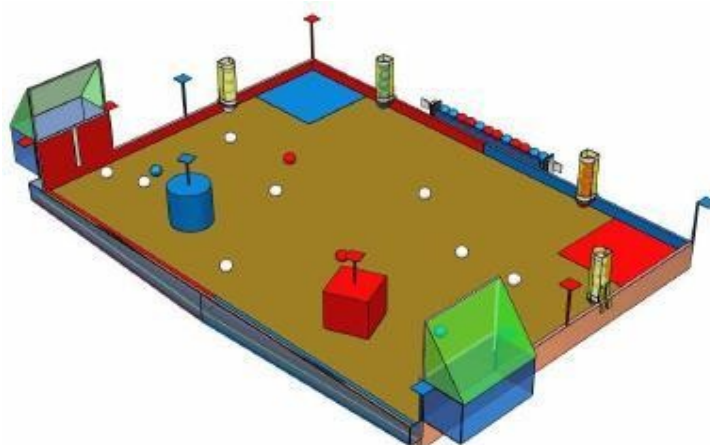


Ilustración 2.5.12: Eurobot 2008. Misión a marte.

2009. Templos de la Atlántida.

Para este año la clave de la prueba era que el robot que construyera más templos y con sus columnas más altas sería declarado ganador.

La competición consiste en dos robots de equipos distintos (verde o rojo) que se encargan de recolectar cilindros y prismas rectangulares del mismo color, piezas con las que se edificarán estructuras. Para elegir al ganador de Eurobot se maneja un sistema similar a la Copa Mundial de Fútbol.

El concurso se ha celebrado este año del 21 al 24 de Mayo en Ferté-Bernard (Francia).

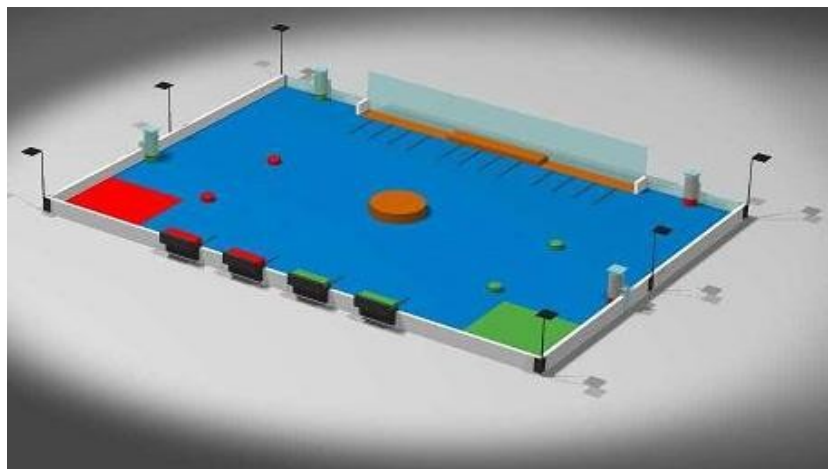


Ilustración 2.5.13: Eurobot 2009. Templos de la Atlántida.



Capítulo 3

3. PROBLEMA Y SOLUCIÓN PROPUESTA

El objetivo del presente proyecto es el diseño y la construcción de un microrobot autónomo con el fin de participar en el concurso internacional “Eurobot 2009”. En esta edición el reto propuesto se llama “Temples of Atlantis”, y lo que deberán hacer los robots es construir los templos más altos para ayudar a los habitantes de la Atlántida. Estas construcciones se levantarán con las columnas y los dinteles que se encuentran repartidos sobre la superficie del tablero y en los dispensadores situados en los laterales de éste, respectivamente.

Sobre el terreno de juego sólo podrá haber un robot por equipo, siendo dos los participantes por partido. A cada robot se le asignará un color, rojo o verde, siendo éste el color que tendrán sus áreas de salida, situadas en las esquinas, y las fichas que deberá construir para puntuar a su favor. Los templos sólo puntuarán si su proyección horizontal se localiza por completo dentro de las áreas de construcción dispuestas en el campo para dicho fin. Estas áreas de diferentes alturas y formas se ubican en el lateral y en el centro del tablero de juego.

Los partidos durarán noventa segundos, tras los cuales ninguno de los robots participantes podrá continuar en movimiento. Transcurrido este tiempo el robot ganador será el que tenga las construcciones más altas.

3.1 DEFINICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE JUEGO

El área de juego

El campo donde se realizan los partidos tiene forma rectangular con unas dimensiones de 2100 mm de ancho por 3000 mm de largo, y es de color azul. En él hay cuatro zonas de construcción a diferentes alturas: dos de ellas están al ras del terreno en el lateral que se encuentra frente al público; otra de una altura situada también en el mismo lateral pero centrada; y por último una plataforma circular de dos alturas que está en el centro del área de juego.

Estas zonas de construcción son comunes para ambos equipos, y solo puntuarán aquellas construcciones cuya base esté totalmente contenida en dichas áreas. Se darán más detalles sobre estas zonas de construcción en el párrafo “Áreas de construcción” (página 31).

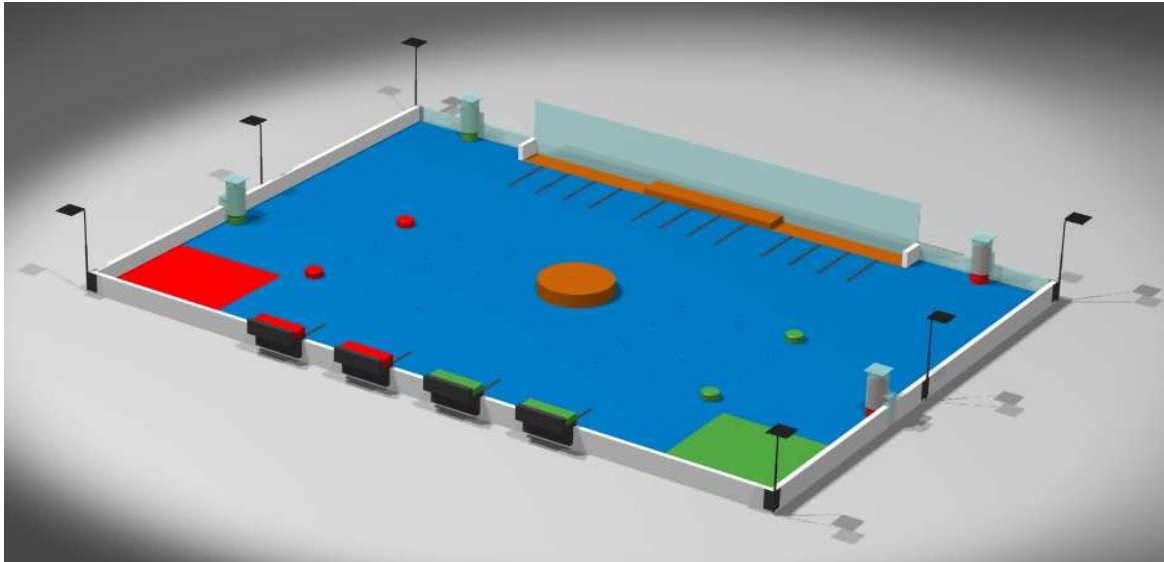


Ilustración 3.1.1: Área de juego.

Los bordes que delimitan el terreno de juego tienen una altura de 70 mm (sobre el nivel del tablero) exceptuando el lateral, que se ubicará de cara al público y que consiste en dos partes:

- Una de la misma altura que la del resto del terreno pero de plexiglas, lo que se hace para que el público pueda ver como los robots extraen los elementos de los dispensadores.
- Y otra sobre las zonas de construcción del lateral, también de plexiglas, pero con una altura sobre el terreno de 250 mm, para que así los robots lo puedan usarlo de soporte para sus construcciones.

Por motivos de seguridad y para prevenir que los rayos láser no puedan salir del área de juego, todas los bordes de plexiglas serán enmascarados del nivel de la mesa hasta una altura de 30mm (mediante cinta adhesiva negra).

Zonas de salida

Las zonas de salida se sitúan en las esquinas traseras del campo. Son cuadradas, con un lateral de 500 mm, y están pintadas de los colores de los equipos (rojo y verde). Al comienzo de cada partido los robots deberán estar totalmente dentro de la zona de salida de su color, al igual que su proyección vertical.

No será necesario que los robots estén en contacto con los bordes del tablero.

Soportes para balizas

Los robots pueden llevar balizas para ayudarse en localización. Para ello hay varios soportes en los laterales del campo y sobre los dispensadores de columnas. Todos ellos tienen una plataforma cuadrada de 80 mm de lateral.

Hay dos clases de apoyos para las balizas:

- Seis de ellos se elevan 350 mm sobre el nivel del terreno, y se sitúan en todas las esquinas y en el centro de los dos laterales más cortos.
- Tres de estos soportes serán para el uso de cada equipo, situados en el centro del lateral corto adyacente a su zona de salida, y en las dos esquinas más alejadas de ella como se puede ver en la siguiente ilustración.

Estos soportes, al igual que las plataformas que sustentan, son totalmente negros. Dichas plataformas están cubiertas por Velcro (cara rugosa).

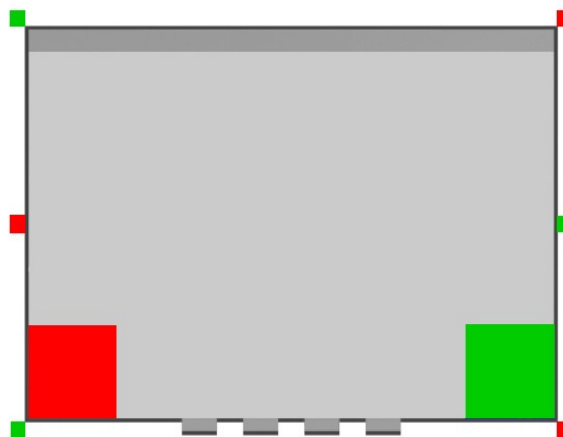


Ilustración 3.1.2: Distribución de soportes para balizas.

- Cuatro de ellos están encima de los dispensadores de columnas, asignándose a cada equipo en base al color de los elementos que contiene cada dispensador. Estos soportes pueden ser de plexiglas, al igual que los dispensadores. Todas las dimensiones son detalladas en *A.1. Dibujos técnicos, Anexos*.

Áreas de construcción

Para poder puntuar será imprescindible colocar las construcciones en las zonas habilitadas para ello, siendo también necesario que la proyección de las columnas de los templos esté totalmente dentro de estas zonas.

En el terreno de juego hay cuatro zonas de construcción, de las cuales tres se sitúan en el lateral frente al público:

- dos de ellas al ras del tablero (etiqueta **1**),
- una central y levantada 30 mm sobre el terreno (etiqueta **2**).
- una plataforma circular, con una altura de 60 mm y que se localiza en el centro del área de juego (etiqueta **3**).

La puntuación de las construcciones depende de la zona en la que se hayan ubicado las mismas. Las puntuaciones se detallarán en el párrafo “Puntuación” (página 40).

Las áreas de construcción **1** de la parte frontal, tienen en el lateral exterior un borde similar al del resto del tablero, con un grosor de 22 mm.

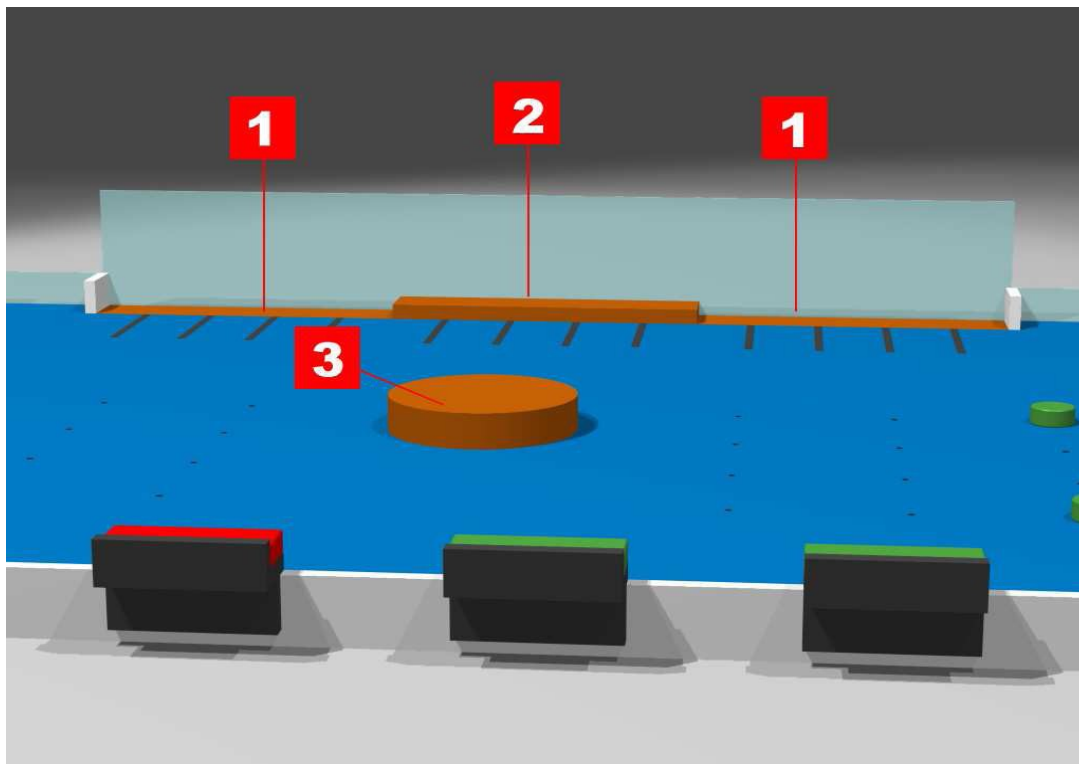


Ilustración 3.1.3: Áreas de construcción.

Sobre el suelo hay unas marcas para indicar las posibles posiciones de las columnas, que sirven para poder construir un templo en las zonas laterales. Estas marcas son líneas negras pintadas sobre la superficie del tablero, perpendiculares al límite de dichas áreas.

Todos los detalles de las dimensiones y las posiciones, de las áreas de construcción y de las líneas de ayuda están detalladas en *A.1. Dibujos técnicos, Anexos*.

Elementos de construcción

Para levantar los templos hay dos tipos de elementos de construcción: las columnas y los dinteles. Las columnas tienen unas dimensiones de 30 mm de altura y 70 mm de diámetro, y un peso aproximado de 100 gramos. Los dinteles son paralelepípedos rectangulares de 200 mm de largo, 70 mm de ancho y 30 mm de altura, con un peso de 300 gr.

Todos los elementos tienen las aristas decantadas 2 mm en 45°. Todas estas dimensiones y las referencias de color vienen detalladas en *A.1. Dibujos técnicos, Anexos*.



Ilustración 3.1.4: Columnas.



Ilustración 3.1.5: Dintel.

Los elementos de construcción se reparten por el campo de la siguiente manera:

- 12 columnas (seis rojas y seis verdes) las cuales estarán sobre el campo.
- 20 columnas (diez de cada color) repartidas en cuatro dispensadores, con cinco columnas del mismo color por dispensador.
- 4 dinteles (dos rojos y dos verdes) cada uno en su propio soporte.

De manera opcional, cada equipo puede llevar un dintel de su color, precargado antes del inicio de cada partido. De no ser así estos dinteles no entrarán en juego.

Se darán más detalles sobre la distribución de los elementos de construcción en los párrafos que vienen a continuación *“Dispensadores de columnas”*, *“Soportes de dintel”* y *“Elementos libres sobre el área de juego”*.

Dispensadores de columnas

Hay distribuidos cuatro dispensadores en los laterales del campo:

- cada dispensador sólo contendrá cinco columnas del mismo color.
- Cada equipo tendrá dos de estos dispensadores de columnas de su color, en la mitad contraria a la de su zona de salida:
- uno de ellos siempre estará en una posición fija, en la parte frontal al público y fuera de las zonas de construcción
- el otro podrá estar en una de dos posiciones aleatorias, situadas en el lateral más corto de la zona de salida. Estas posiciones son simétricas longitudinalmente a lo largo del tablero. Los dispensadores móviles de ambos equipos estarán enfrentados.
- Las posiciones y dimensiones exactas de los dispensadores fijos móviles se detallan en *A.1. Dibujos técnicos, Anexos*.

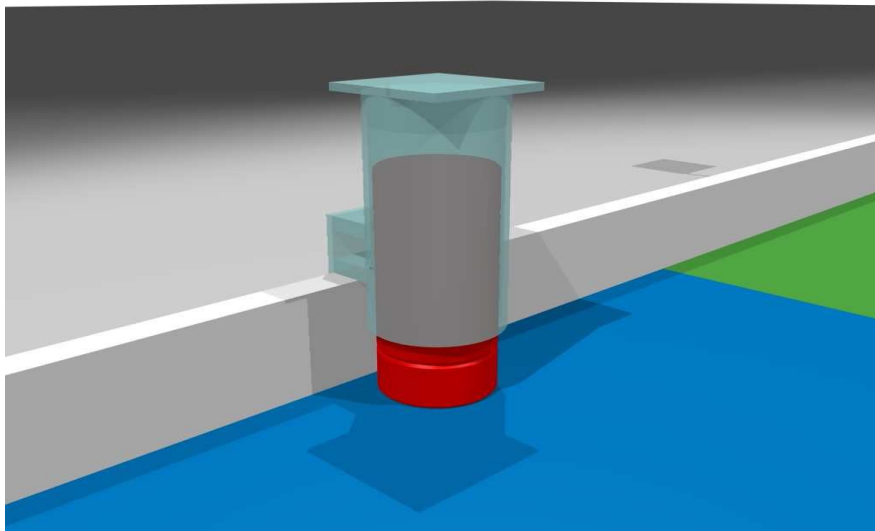


Ilustración 3.1.6: Dispensador de columnas.

Estos dispensadores son tubos transparentes colocados verticalmente y tangentes al lateral del terreno de juego. Están abiertos en su parte inferior dejando salir una única columna a la vez. No hay nada adicional en los dispensadores que impida extraer las columnas, siendo la única fuerza a salvar la fricción y la presión de las piezas que se encuentren sobre la primera. La sujeción de los dispensadores se encuentra en la parte trasera de éstos, en la parte externa del tablero.

Todos los dispensadores tienen asociado un soporte para balizas. Para mas detalles consultar “*Soportes para balizas*” (página 31).

Soportes de dintel

Cada dintel del tablero tiene su propio soporte, que lo sustenta a 92 mm del tablero. En total hay cuatro soportes, dos para los dinteles de cada equipo, situados en la pared que comparten las zonas de salida. Los soportes contendrán dinteles del color de la zona de salida con la que comparten la mitad del campo a la que pertenecen.

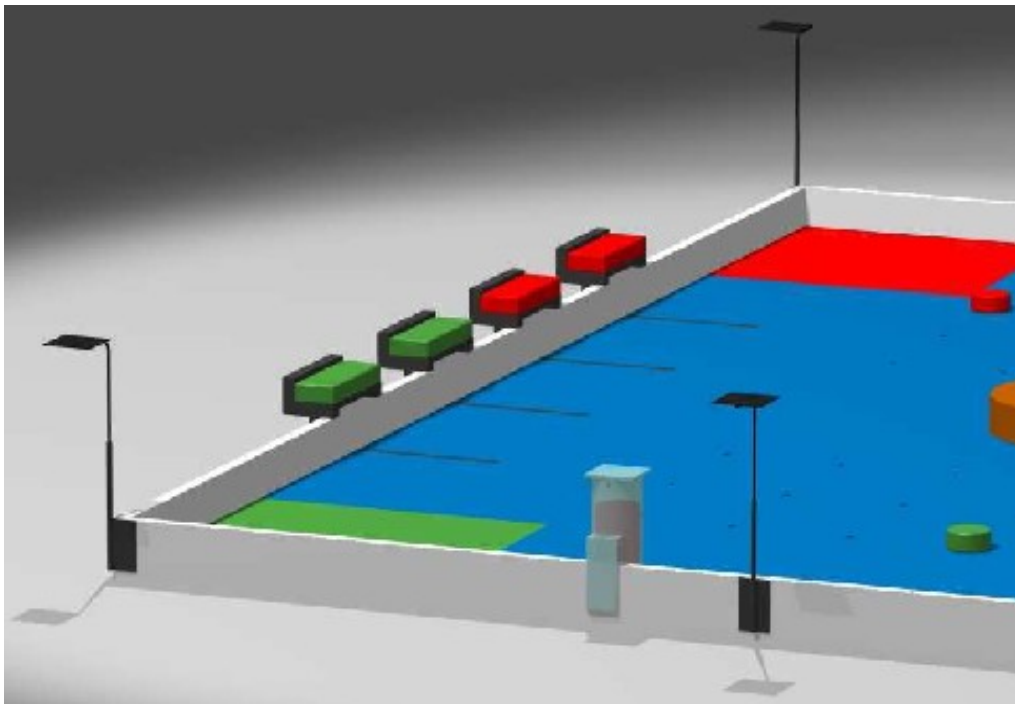


Ilustración 3.1.7: Disposición de los soportes en el campo.

Estos soportes dejan un hueco libre entre el límite del terreno y la parte inferior del dintel, para poder introducir algún tipo de agarre.

Durante su almacenaje los dinteles tocarán con su cara trasera el fondo de los soportes y no sobresaldrán por los laterales.

Sobre el suelo hay unas marcas que indican los puntos medios de los dinteles. Las marcas son líneas perpendiculares al borde pintadas de negro sobre la superficie del tablero, perpendiculares al límite de dichas áreas.

Todos los detalles de las dimensiones y las posiciones, de los soportes del dintel y de las líneas de ayuda se pueden consultar en *A.1. Dibujos técnicos, Anexos*.

Elementos libres sobre el área de juego

Sobre el campo se colocan doce columnas, seis de cada color, antes de iniciar cada partido. Sólo hay cuatro columnas que mantienen siempre su posición, mientras que las otras varían sus localizaciones. En la *Ilustración 3.1.8: Posiciones fijas y aleatorias, de los elementos columna libres*, se muestran las cuatro posiciones fijas (en las que se tienen los elementos columna) y las 20 aleatorias (representadas por un punto negro).

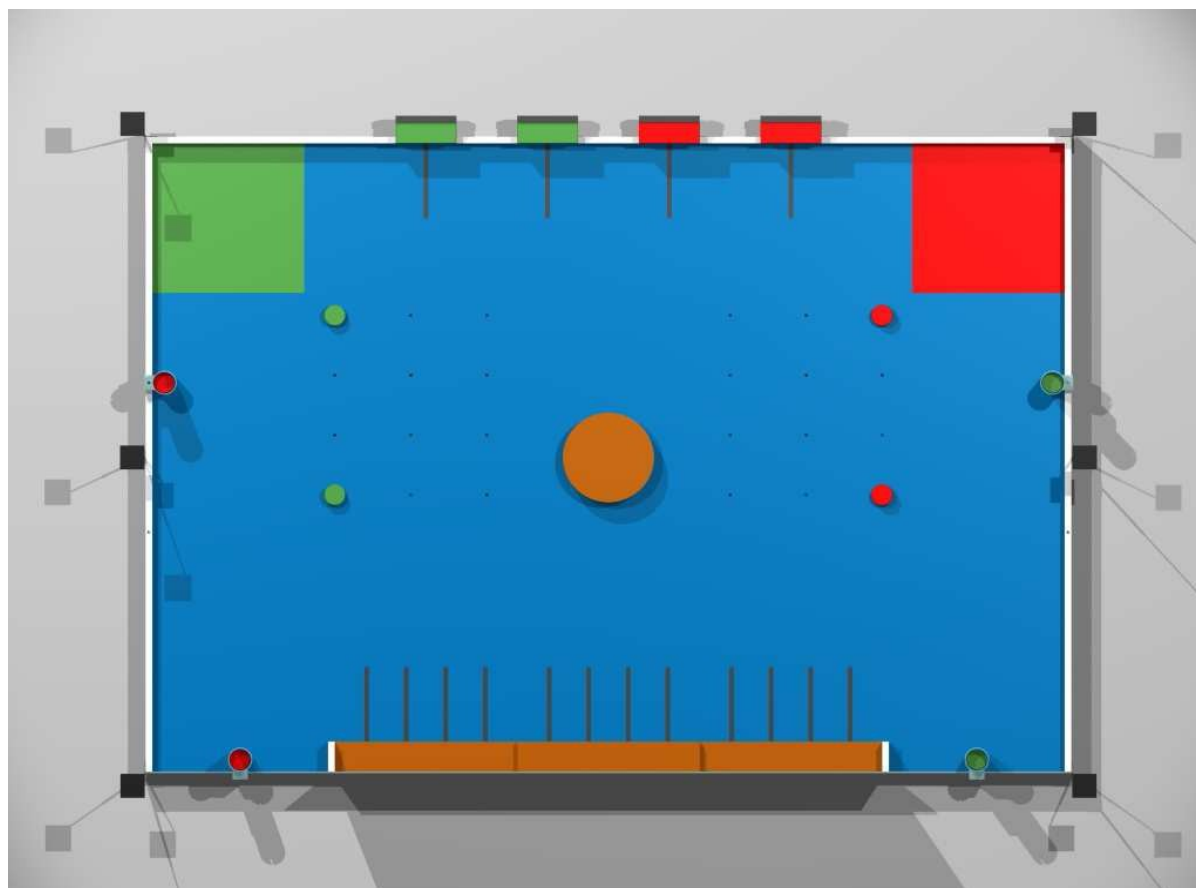


Ilustración 3.1.8: Posiciones fijas y aleatorias, de los elementos columna libres.

Todas las localizaciones que se encuentran en la misma mitad del tablero contendrán columnas del mismo color. Antes de cada partido, para seleccionar en qué posiciones aleatorias se van a colocar las ocho columnas restantes, se elegirá un naipe entre diez que describirá la posible configuración.

Estas posiciones arbitrarias son simétricas respecto al eje central que corta a lo ancho el campo de juego, para que ningún equipo se pueda ver favorecido. Además, para limitar el número de posibles colocaciones, éstas también son simétricas respecto a una línea imaginaria que se localiza entre la segunda y tercera fila de puntos.

Un facsímil de las tarjetas usadas para la selección está incluido en *Anexos, A.2. Cartas aleatorias de elementos libres*.

Los robots

En cada partido solo se permite un robot por equipo, siendo este robot el mismo para todos los partidos. Si el robot sufre alguna modificación estructural, las normas de la competición establecen que deberá volverse a homologar.

Los robots deben ser totalmente autónomos durante los partidos y transportarán su propia fuente de alimentación, actuadores y sistemas de control, estando solo autorizada la comunicación con las balizas.

El perímetro de los robots está limitado, y se describe como la proyección horizontal del robot sobre el suelo (los elementos que se controlen durante los encuentros no se incluirán en las siguientes medidas). Este perímetro será de 1200 mm al inicio del partido con el robot cerrado, y una vez iniciado el partido se podrán desplegar las partes móviles teniendo una limitación de 1400 mm de perímetro. El robot tendrá que llevar unido físicamente a él todas sus partes, no pudiendo abandonar ninguna de ellas sobre el área de juego.

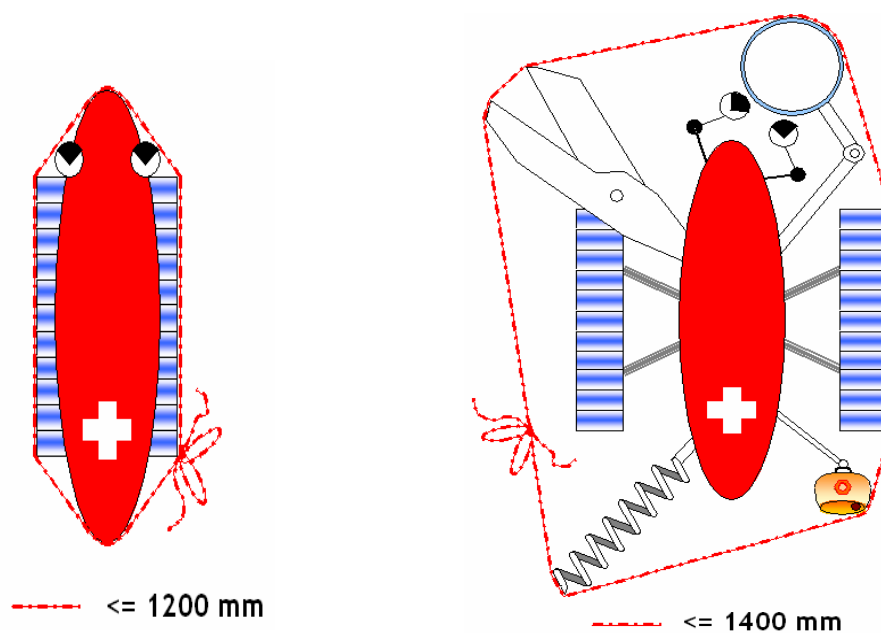


Ilustración 3.1.9: Configuración inicial.

Ilustración 3.1.10: Configuración desplegada.

La altura del robot no deberá superar los 350 mm, exceptuando: el soporte de la baliza, un sensor en el mástil del soporte para baliza y la parte que sobresale del botón de emergencia al no estar pulsado, siempre que no estorbe al sistema de balizamiento del resto de los robots. El resto de los sistemas deberán contenerse dentro del perímetro y la altura máximos.

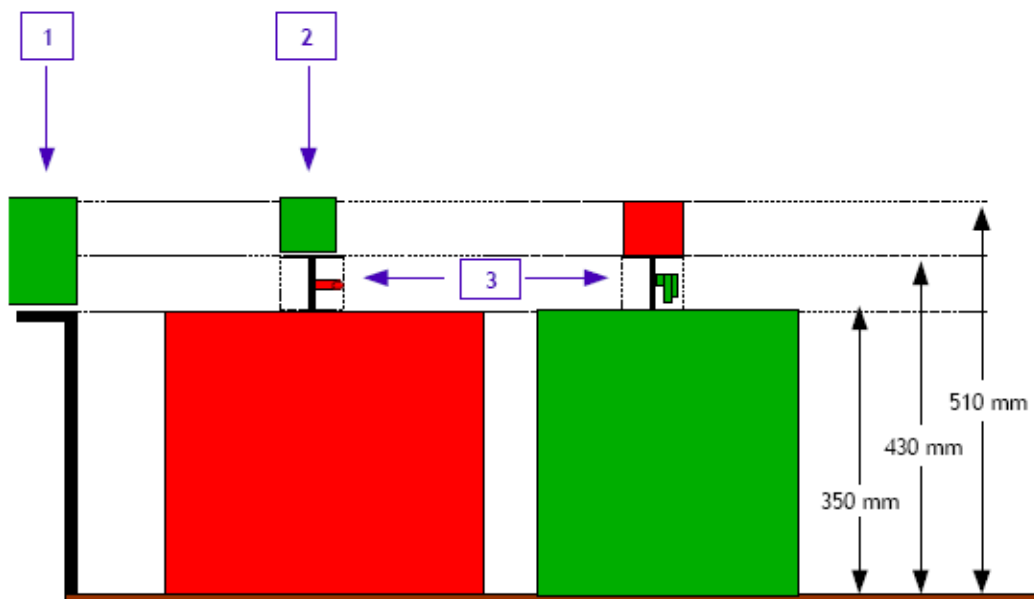


Ilustración 3.1.11: Distribución de alturas.

Leyenda *Ilustración 3.1.11: Distribución de alturas* :

- 1 Balizas fijas: (80 x 80 x 160 mm)
- 2 Baliza móvil de localización de robot (80 x 80 x 80 mm)
- 3 Mástil (área para un único sensor)

Además de las limitaciones de tamaño, habrá que tener en cuenta otros aspectos que influirán en el diseño del robot:

- Como máximo el robot podrá transportar, a la vez, 4 columnas, ya sea dentro del robot o controladas por elementos estructurales o actuadores.
- No hay ningún tipo de límite en el número de dinteles a transportar, siempre que éstos sean del color asignado al equipo.
- Todos los robots deberán incluir un cordón de arranque, con una longitud mínima de 500 mm y de fácil accesibilidad.
- Es indispensable que el robot lleve un botón de emergencia, de al menos 20 mm de diámetro y de color rojo. Éste tendrá que situarse en la parte superior del robot, en una parte visible y en una zona en la que no sea peligroso su accionamiento y sea accesible para los árbitros en cualquier momento durante los partidos. Al ser pulsado no podrá ni cerrar los actuadores, ni frenar los motores, sino que deberá dejar libres estos sistemas.



- Los robots deben disponer de algún sistema automático que los detenga a los 90 segundos, que es la duración máxima establecida para cada partido.
- Se debe incorporar en los robots un sistema de localización de obstáculos con el fin de evitar colisiones y a su vez para que los robots no sean dañados durante los encuentros.
- El sistema de control debe permitir que el robot pueda desarrollar los partidos en representación de cualquier color.

3.2. DESARROLLO DEL PARTIDO

Los encuentros discurrirán de la siguiente forma:

- Antes de su inicio se le asignará a cada equipo uno de los colores: rojo o verde.
- Sólo podrán acceder a la zona de juego dos personas por equipo, para la preparación del robot.
- Ambos equipos tendrán 3 minutos para poner su robot en la zona de salida, prepararlo y colocar sus balizas.
- Cuando ambos equipos están preparados y así lo haya confirmado un árbitro, cada equipo elegirá una sola carta de las que le ofrece otro árbitro. De uno de los montones saldrá la configuración de los elementos libres y del otro, la posición de los dispensadores móviles. Una vez colocados los elementos y los dispensadores, el árbitro preguntará a los equipos si tienen alguna objeción sobre estas colocaciones.
- Cuando el árbitro dé la salida, un participante de cada equipo tirará del cordón de arranque. Desde este momento el robot deberá funcionar de manera totalmente autónoma.
- Los robots tendrán 90 segundos para obtener la mayor puntuación posible. Transcurrido este tiempo los robots deben pararse y desactivar todos los sistemas por ellos mismos.
- Una vez terminado el partido, los árbitros contarán los puntos de cada equipo, sin tocar los robots. Después, un árbitro anunciará las puntuaciones y dará a firmar el acta a ambos equipos.



Puntuación

Para poder puntuar, los templos tendrán que estar edificados en las áreas definidas en el apartado “Áreas de construcción” (página 31), y cumplir los siguientes requisitos:

- Los elementos columna tendrán que estar apoyados sobre una de sus bases.
- La proyección de las columnas debe estar totalmente contenida dentro de un área de construcción.
- Aquella columna que esté sobre otra será válida si también lo es la columna que la soporta.
- Los dinteles tendrán que estar acostados sobre su cara de mayor tamaño y siempre sobre dos columnas; el dintel puntuará siempre que ambas columnas sean válidas.

Los puntos obtenidos por cada elemento válido dependerán de la altura a la que se encuentren éstos dentro de la construcción respecto del tablero; obteniendo así para una columna de base válida:

- 1 punto, si está en el área de construcción * **1**
- 2 puntos, si está en el área de construcción **2**
- 3 puntos, si está en el área de construcción **3**

* Véase la *Ilustración 3.1.3: Áreas de construcción* (página 32).

Y las columnas que se apoyen sobre éstas, obtendrán un número de puntos igual al nivel en el que se encuentren, al igual que las antes descritas.

- Los dinteles válidos puntuarán 3 veces el valor del nivel en el que esté.

Otro aspecto importante a tener en cuenta son las penalizaciones y los puntos de compensación; las penalizaciones se obtienen por comportamientos poco deportivos por parte de los robots, tales como:

- Colisiones violentas contra el robot contrario.
- Si es peligroso para el oponente, el público o el campo de juego.
- Cuando deliberadamente impide al otro robot el acceso a un elemento.
- Si no se para a los 90 segundos.



- Si se destruyen templos o columnas, intencionadamente o de forma sistemática.
- Guardar los elementos del oponente.
- Sacar los elementos del equipo contrario del área de juego.
- Si el robot se despliega antes de que se dé la salida.
- O cualquier comportamiento que no cumpla las normas del concurso.

Si se penaliza a un robot se le restará un punto por infracción al total de los obtenidos en el partido, pudiendo obtenerse una puntuación negativa.

Por otro lado, está la compensación por destrucción, que se le otorgará al equipo al que el robot oponente haya destruido algún tipo de construcción. Los siguientes puntos extras se concederán según en el tipo de área de construcción:

- 10 puntos por columna (independientemente del número de elementos columna que la conformen) o por tirar un dintel contenido en un templo dentro del área de construcción * **1**
- 15 puntos en el área de construcción **2**
- 20 puntos en el área de construcción **3**

* Véase la *Ilustración 3.1.3: Áreas de construcción* (página 32).

Una vez terminado el partido, se contarán los puntos obtenidos por cada equipo teniendo en cuenta los templos edificados, las penalizaciones y las compensaciones. Según haya sido una puntuación respecto a otra se le añadirá a ese total los siguientes puntos:

- 10 por una victoria.
- 6 por un empate.
- 2 por derrota.
- 0 por scratch.

El scratch se produce si el robot no es capaz de salir de la zona de salida, véase “*Zonas de salida*” (página 30).

Si durante un partido ninguno de los equipos es capaz de puntuar se considerará como una doble derrota.

3.3. EL PROBLEMA

El problema a solucionar será diseñar y construir un microrobot autónomo capaz de competir en las pruebas del “Hisrobot 09” y quedar entre los tres primeros robots de la competición, y así, obtener la clasificación para el concurso internacional “Eurobot 09”. Por ello había que conseguir hacer un microrobot que cumpliera con todas las especificaciones exigidas por las normas del “Eurobot 09”, citadas ya en el párrafo anterior.

Además de cumplir las normas, se tenía que lograr que el robot consiguiera cierta puntuación. Por ello se debía pensar una estrategia y diseñar más tarde el robot a partir de ésta misma. La estrategia escogida en un principio para llevar a cabo, consistía en arrastrar algunos elementos columna al área de construcción * **1** para después ir a recoger el máximo número de columnas que podía transportar el robot, cuatro, elevarlas para poder edificar en el área de construcción de mayor puntuación, el área central, * **3** . Una vez elevadas se construirían dos columnas de dos elementos cada una y se cerraría el templo con el dintel precargado. Una vez testada esta estrategia se comprobó que era inconsistente y poco repetitiva, lo que nos llevó a una segunda fase de mejora en la que se aumentó la sencillez y la eficacia del robot. Éstas pequeñas variaciones también serán descritas a lo largo de este texto.

* Véase la *Ilustración 3.1.3: Áreas de construcción* (página 32).

Para la construcción del microrobot había que estudiar cómo hacer el sistema de recogida, elevación y construcción de los templos, al igual que los sistemas primarios, necesarios en todo microrobot autónomo como la tracción, alimentación y control de los sistemas. A lo largo de este documento, se podrá ver una detallada descripción de los sistemas diseñados para el robot Iron-Paco.

3.4 LA SOLUCIÓN

Tras varias reuniones realizadas por los componentes del equipo LSI-UC3M que iba a realizar el microrobot para el Eurobot 09, y la valoración en éstas de las ideas que tenían los distintos componentes del equipo para poder llevar a cabo la estrategia escogida previamente, se decidió hacer un robot con los sistemas que se describirán a continuación.

Se construyó una estructura de policarbonato extruido, que más tarde sería reforzada con perfiles de acero, en las zonas en las que se consideró que esta necesitaba una mayor robustez.

La solución alcanzada consistió en construir una palas capaces de recoger elementos columna tanto de los dispensadores como de la superficie del tablero, para introducir las columnas una a una en el robot y elevarlas en su interior, con una cinta transportadora inclinada, hasta una bandeja, en la que se iría montando el templo mediante otras palas.

Cuando las columnas de dos elementos están montadas, el robot se chocaría con el área de construcción central, * **3** , introduciéndose así la bandeja, sobre la que estará las columnas, y estas caerán por su propio peso sobre el área de construcción. La primera vez que se construya en cada partido, se dejará caer sobre las columnas el dintel precargado.

* Véase la *Ilustración 3.1.3: Áreas de construcción* (página 32).

Para garantizar la autonomía del robot, hubo que dotarlo con un sistema sensorial, con el que poder posicionarse y localizar tanto los elementos del juego como al oponente mediante encoders, sensores de posición y final de carrera, y unos ratones. Y por supuesto una forma de controlarlos, para lo cual se eligió una placa base para recibir los estímulos enviados por los sensores y que fuera capaz de gobernar a todos los sistemas.

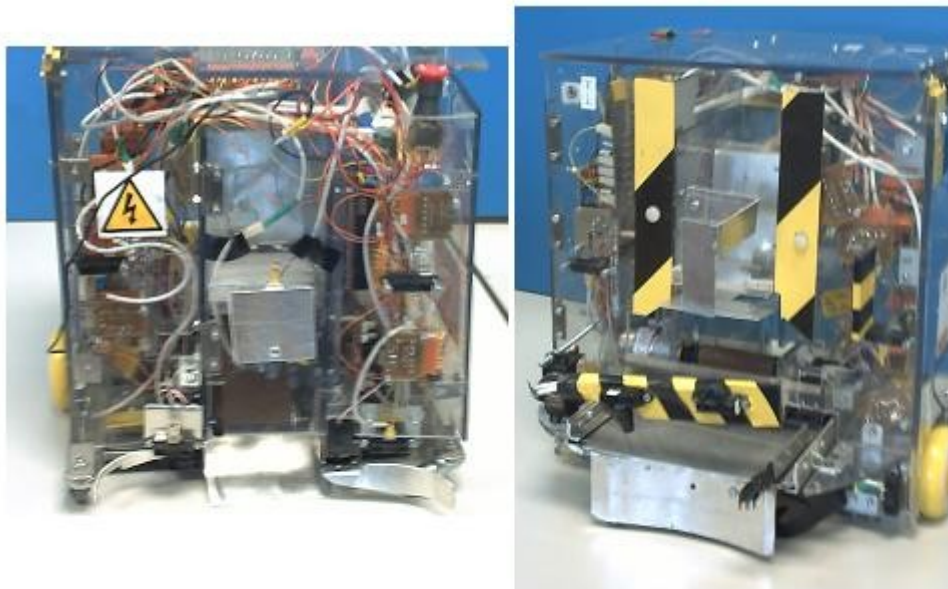


Ilustración 3.1.12: Vista posterior y delantera del robot Iron-Paco.

Capítulo 4

4. ESTRUCTURA, SISTEMA LOCOMOTOR Y ACTUADORES

4.1. ESTRUCTURA

La estructura o chasis es la encargada de darle forma al robot y sostener sus componentes. Puede estar constituida por numerosos materiales como: plásticos, metales, etc. y tener muchas formas diferentes.

Así como en la naturaleza, los robots pueden ser del tipo "endoesqueleto", donde la estructura es interna y los demás componentes externos, o "exoesqueleto", donde la estructura está por fuera y cubre los demás elementos [12].

La normativa del concurso exigía que el público pudiera ver lo que ocurría dentro del robot, por lo que se decidió construir la estructura tanto interna como externa en policarbonato extruido, ya que es un material transparente, barato, robusto y de fácil manipulación.



Ilustración 4.1.1: Estructura cerrada.

La estructura debía acondicionarse a la estrategia adoptada, además de cumplir las especificaciones de tamaño que impone el concurso. Por ello se comenzó construyendo una base rectangular, con un ancho igual a la longitud de los dos motores de tracción (305 mm) y un perímetro igual al máximo permitido (1200 mm), y desde aquí se le fue dando forma según las necesidades de los sistemas que se necesitaban.

La construcción de los templos se iba a hacer sobre una bandeja retráctil, que debía dejar su parte inferior libre, ya que para depositar los templos el robot chocará contra el área de construcción central, introduciéndose de esta manera la bandeja y dejando caer la construcción. También eran necesarias dos palas en la parte delantera para la recogida de los elementos columna, y se eliminó el material de la base que se encontraba en la trayectoria de las palas al abrirse hasta quedar ambas palas en la misma línea. Por ello la base pasó a tener unas dimensiones de 171 x 305 mm. Los raíles que sustentarían la rampa formarían parte de la estructura.

A la base se le practicaron dos orificios rectangulares, en los que irían dispuestas dos cajas de aluminio que contendrían un ratón cada una, destinados al posicionamiento. Por otra parte, se recortó un pequeño rectángulo centrado en la parte delantera en la que se encajaría una rampa, permitiendo este hueco que la cinta elevadora comenzara antes del fin de la rampa, cinta que se usará para elevar los elementos columna hasta la bandeja de construcción.

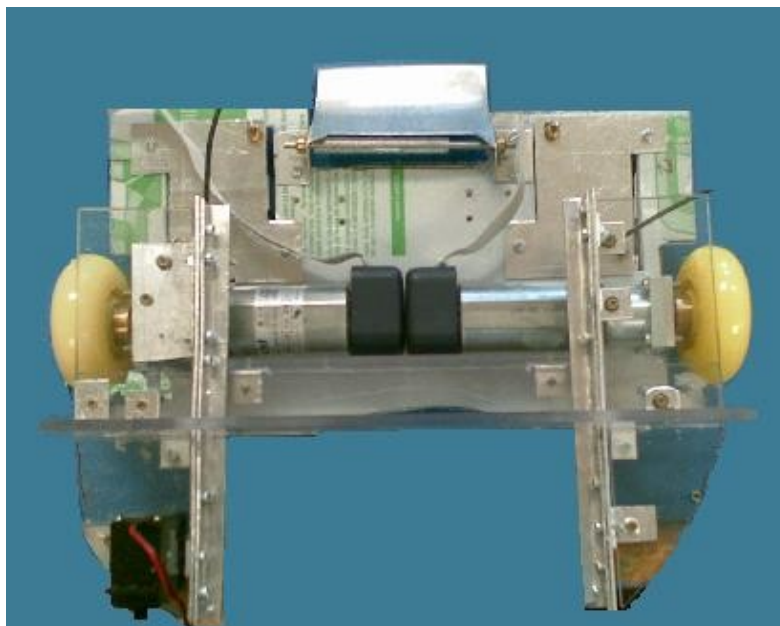


Ilustración 4.1.2: Base con motores, raíles, ratones y rampa ensamblados.

Se necesitaba algún sistema que impidiese que los elementos columna se salieran por los laterales de la cinta elevadora. Aprovechando esta necesidad, se construyó una estructura central que es la que sostendría la mayoría de los sistemas y actuadores del robot. A esta estructura se le incorporó una plataforma, en la que iría colocada la batería, tanto por su accesibilidad como por la necesidad de que esta estuviese centrada.

Esta estructura central sustentaría los siguientes sistemas mecánicos:

- ◆ Los servomotores de las palas de recogida.
- ◆ El sistema para dintel precargado y su servo.
- ◆ El motor de corriente continua y el eje motriz de la cinta elevadora.

La estructura central, también sujetaría dos bandejas en las que se encuentran casi todas las placas electrónicas. En una de ellas se tendrían las placas de control: placa base, placa de control esclava, la placa de drivers de los motores de tracción y la placa intermedia de conexiones, mientras que la otra contendría las placas de potencia de 5 y 7 V respectivamente. El motivo para usar estas bandejas era facilitar la movilidad de todo un bloque para pruebas, revisiones y reparaciones fuera del robot.



Ilustración 4.1.3: Bandeja de control.



Ilustración 4.1.4: Bandeja de potencia.

Esta estructura central se anclaría a la base y a la pared trasera del robot mediante escuadras y perfiles de aluminio. En la pared trasera habría un agujero, con la parte inferior biselada, lugar por donde caerían los elementos columna desde la cinta elevadora hasta la bandeja. Esta pared sería fija al igual que la estructura central y en conjunto serían las que sostendrían los componentes. Sosteniendo así la pared trasera los servomotores de las palas de montaje, encargadas de construir las columnas.

El resto de las paredes harían de carcasa y sólo sostendrían elementos de poco peso, tales como los sensores y las placas de acondicionamiento de éstos. Salvo las paredes del lateral derecho, el resto de las paredes irían abisagradas para permitir abrir el robot con facilidad y poder revisar o reparar los sistemas internos, además de facilitar los cambios de batería.

Por éste mismo motivo, también se abisagró el techo del robot, en el que se ubican la seta de seguridad, el selector de color y el soporte para balizas, los tres componentes indispensables para cumplir la normativa de “Eurobot 09”.

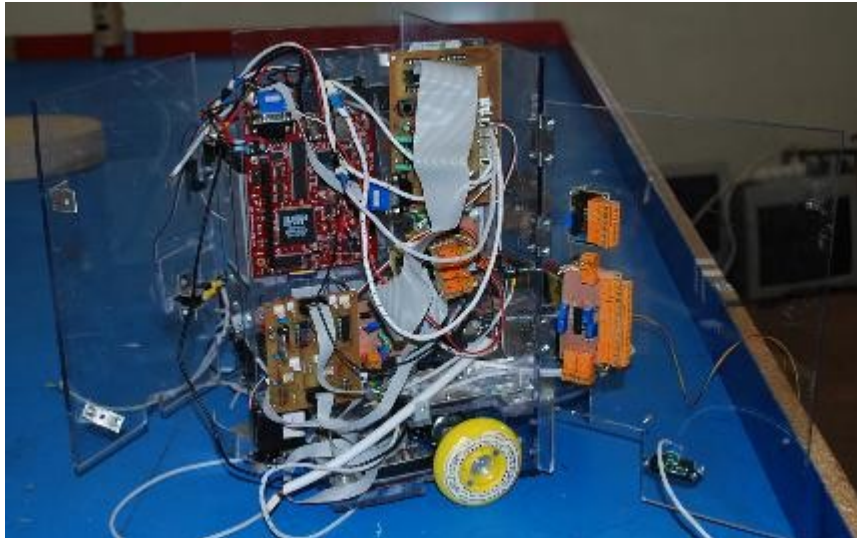


Ilustración 4.1.5: Microrobot con las paredes abiertas.

4.2. SISTEMA LOCOMOTOR

El sistema de tracción y el locomotor son los encargados de hacer que el robot sea capaz de desplazarse por el campo de juego.

Desde el punto de vista de la tracción, la robótica puede clasificarse en dos grandes grupos: los basados en movimiento por actuadores o piernas y los basados en movimiento por rodadura.

En nuestro caso se optó por el movimiento basado en rodadura ya que es el más sencillo. En relación a las ruedas, existen distintas configuraciones, típicamente utilizadas en robótica móvil: diferencial, triciclo, Ackerman, sincronizada [13].

- ◆ **Diferencial:** se presenta como la más sencilla de todas. Consta de dos ruedas situadas diametralmente opuestas en un eje perpendicular a la dirección del robot. Cada una de ellas irá dotada de un motor, de forma que los giros se realizan dándoles diferentes velocidades, incluso pudiéndose realizar giros de radio cero.
- ◆ **Triciclo:** En este caso tendrá dos ruedas traseras, que no llevan acopladas ningún motor, estando la tracción en la rueda delantera, que además, será la que se usará para dirigir al robot. Esta configuración es muy fácil de implementar y controlar, pero resulta algo inestable.

- ◆ **Ackerman:** Posee dos ruedas motrices y otras dos directrices. Su principal característica es que cuando el robot gira, las circunferencias que trazan las dos ruedas directrices tienen el mismo centro. Esta configuración es energéticamente muy eficiente y permite giros a altas velocidades. Es la dirección utilizada en los automóviles.
- ◆ **Sincronizada:** Consiste en tres o más ruedas, todas ellas dotadas de tracción y acopladas mecánicamente, de forma que todas rotan en la misma dirección y a la misma velocidad. Se necesita que todas ellas pivoten de la misma manera al cambiar la dirección, por lo que se convierte en una configuración mecánicamente compleja.

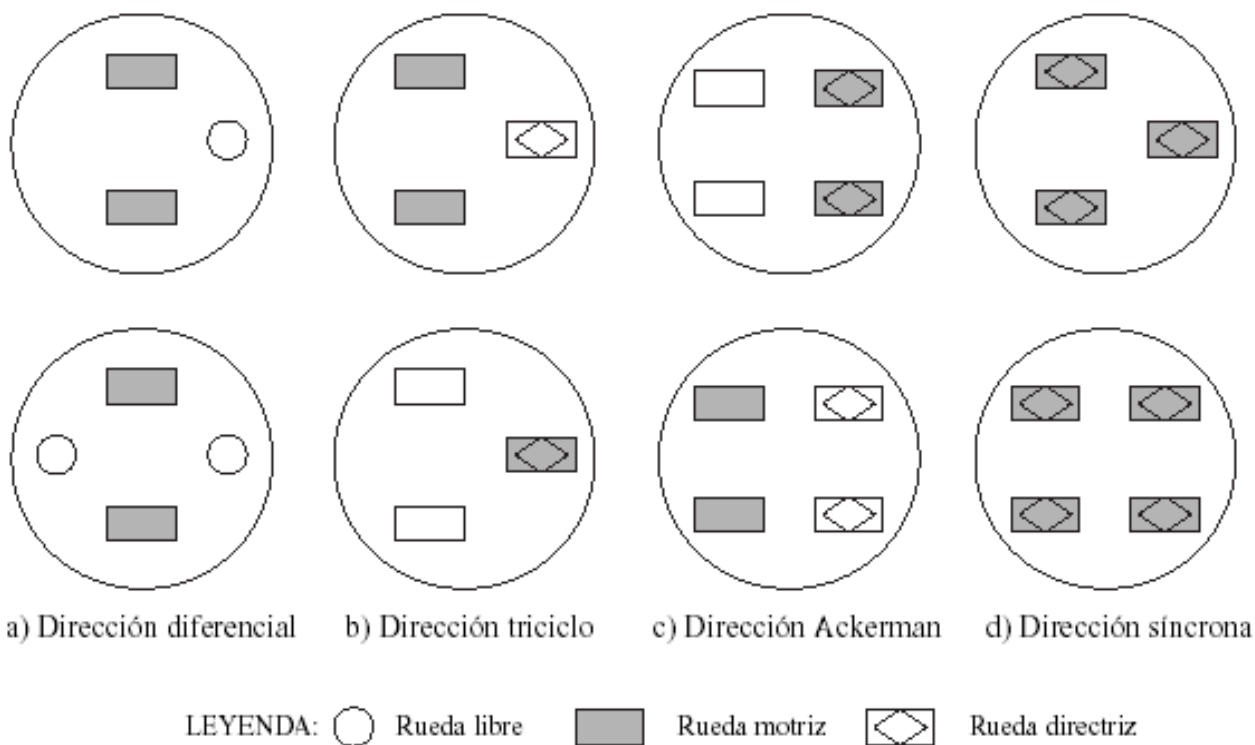


Ilustración 4.2.1: Clasificación de sistemas de dirección motriz.

Se optó por dotar al robot con una configuración diferencial debido a la gran maniobrabilidad, sencillez y coste que posee esta configuración, proporcionando de esta manera un sistema de desplazamiento flexible y preciso, capaz de trasladar al robot por el terreno de juego sin dificultad, además de efectuar giros rápidos y precisos.

Las desventajas de esta configuración son la necesidad de un control de precisión en las trayectorias rectas, ya que es complicado realizar desplazamientos completamente rectos, y además, el cambio de diámetro de las ruedas distorsiona el control de dirección del robot.

Los motores se dispusieron en la parte trasera de la plataforma. Además se colocaron varias ruedas libres para dar estabilidad al conjunto resultante, y evitar cabeceos o balanceos del robot al realizar frenadas o cambios de sentido de giro [1].

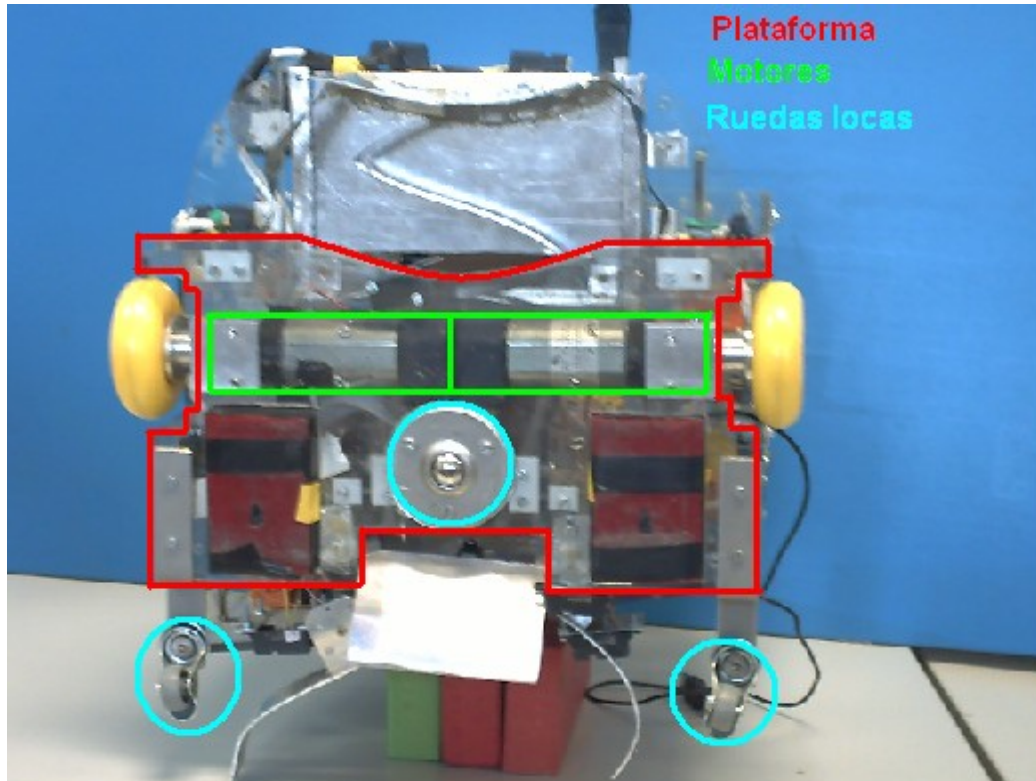


Ilustración 4.2.2: Distribución de los elementos del sistema motriz.

4.2.1. Las ruedas

Las ruedas son los elementos que nos permiten comunicar la tracción de los motores con el suelo y así conseguir desplazar el robot. Estos movimientos se realizan gracias a dos tipos de ruedas: las ruedas motrices y las ruedas libres (o locas). Nuestro robot dispone dos ruedas motrices situadas a cada lado del robot y tres ruedas locas para dar estabilidad y evitar el rozamiento de la base con el suelo.

4.2.1.1. Ruedas motrices

Para elegir las ruedas motrices adecuadas es imprescindible conocer las prestaciones que se necesitan satisfacer. En nuestro caso se necesitaba la mayor adherencia posible y una gran capacidad de adaptación con los motores. Por todo esto, se han utilizado unas ruedas para patines de línea, del modelo HYPER HOCKEY PRO 250 y con un diámetro de 72 mm, fabricadas en silicona, material que proporciona una gran adherencia.

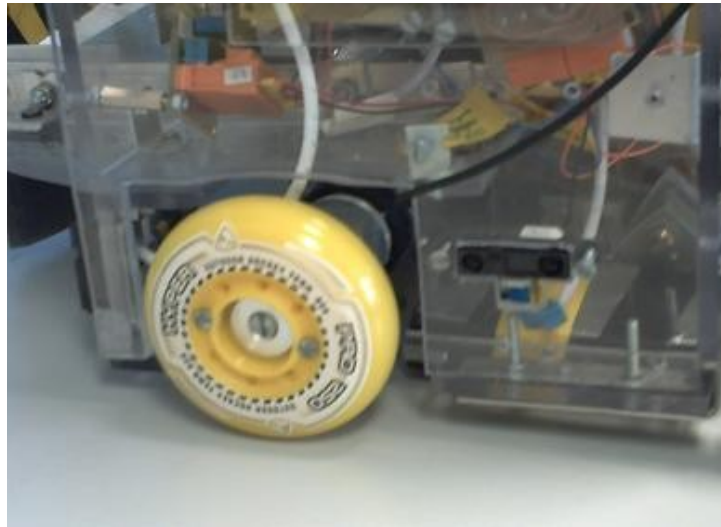


Ilustración 4.2.1.1.1: Rueda HYPER HOCKEY PRO 250.

Para poder acoplarlas a los ejes de los motores, se diseñaron unos casquillos que más tarde se tornearon en aluminio. Como se puede ver en la *Ilustración 4.2.1.1.2: Vistas de los casquillos*, tienen una forma cilíndrica con un agujero pasante por el que se introducirá el tornillo que los asegure al eje motor, y una corona circular con dos agujeros roscados diametralmente opuestos que servirán para unir los casquillos a las ruedas.

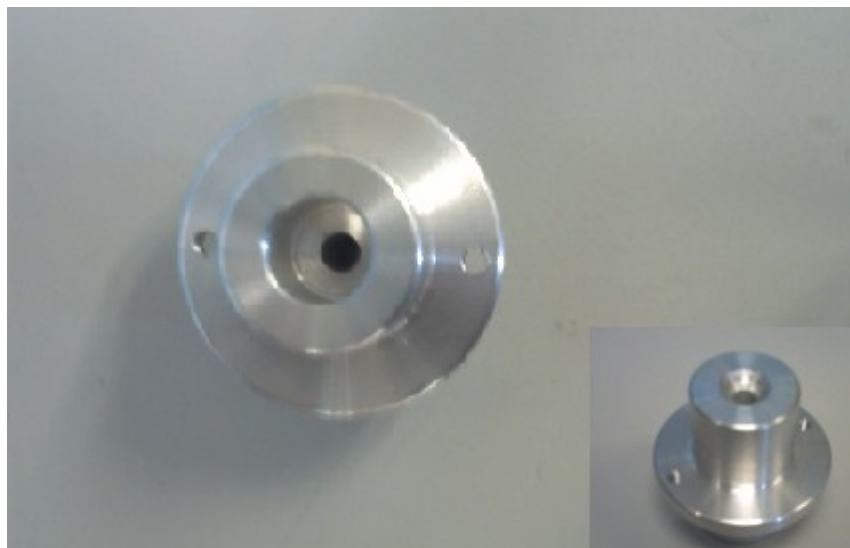


Ilustración 4.2.1.1.2: Vistas de los casquillos.

4.2.1.2. Ruedas locas

Con dos ruedas es imposible mantener la horizontalidad del robot, ya que se producen cabeceos al cambiar la dirección. Para solventar este problema, se colocan ruedas “locas”. Estas ruedas no llevan asociadas ningún motor, giran libremente según la velocidad del robot. Además, pueden orientarse según la dirección del movimiento. Dependiendo de las necesidades, se pueden colocar una, dos o más ruedas “locas” [13].

Para evitar cabeceos y el rozamiento contra el suelo, en un primer momento, se incorporó una única rueda loca tipo bola en la parte central delantera de la plataforma. La rueda loca está fabricada en aluminio, con unas dimensiones de 60 mm de diámetro y 20 mm de altura.



Ilustración 4.2.1.2.1: Rueda loca tipo bola.

Inicialmente esta configuración funcionaba correctamente, pero al ir incorporando los sistemas al robot y en consecuencia ir aumentando el peso soportado por la plataforma hasta superar la carga crítica por pandeo. Esta inestabilidad por pandeo se tradujo a un cabeceo [14].

Como solución a este problema, se incorporaron otras dos ruedas locas tipo castor, una en cada lateral del robot y lo más alejado posible de las ruedas motrices. Para sujetarlas a la base, darle a ésta mayor rigidez y aumentar la superficie de reparto de pesos, se hicieron unas sujeciones en acero.



Ilustración 4.2.1.2.1: Rueda loca lateral con su estructura de acero.

4.2.2. Motores

Tras haber determinado la configuración motriz a usar, se hace la elección de los motores. Hay que tener en cuenta las necesidades a cubrir, tales como la fuerza necesaria para mover el robot y la carga que transporta, ofreciendo por tanto un par como una velocidad adecuadas, manteniendo unos niveles de consumo de energía aceptables.

Se ha escogido un motor de corriente continua Bernio modelo MR 615 30 Q con una reductora de 1/16. La combinación del motor y la reductora nos ofrece unas características de par y velocidad más que suficientes para cubrir las necesidades del proyecto, con un consumo de energía aceptable [15].



Ilustración 4.2.2.1: Motor Bernio MR 615 30 Q con una reductora de 1/16.

La dirección de giro se controla a través de la polaridad de sus terminales, al igual que todos los motores de corriente continua, así que, si se invierte la polaridad también lo hará el sentido de giro. La velocidad en este tipo de motores viene determinada directamente por el nivel de tensión aplicado en sus terminales, de manera que cuanto mayor sea el voltaje aplicado, mayor será la velocidad de giro. De esta manera se puede controlar fácilmente el sentido y la velocidad del motor.

Un aspecto a tener en cuenta en cualquier motor, es el pico de corriente de arranque, que de no ser bien controlado puede dañar e incluso inutilizar el motor. En este caso, el pico de corriente de arranque es de 5,4 A y no se puede mantener más de dos segundos seguidos.

Para la alimentación de estos motores se ha utilizado el driver LMD18200T que proporciona hasta 3 A y añade la potencia necesaria a la señal PWM generada por programación. El control de velocidad y del ángulo de giro se consigue gracias al encoder modelo EB50, también de la marca Bernio, que lleva incorporado cada motor.



4.3. ACTUADORES

Los actuadores tienen como misión generar el movimiento de los elementos del robot según las ordenes dadas por la unidad de control. Los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica. Cada uno de estos sistemas presenta características diferentes, siendo preciso evaluarlas a la hora de seleccionar el tipo de actuador más conveniente.

Se clasifican en tres grandes grupos, según la energía que utilizan:

- ◆ **Neumáticos:** Éstos usan el aire comprimido como fuente de energía, siendo muy indicados para movimientos rápidos, pero su precisión es limitada.
- ◆ **Hidráulicos:** Son recomendables en los manipuladores que tienen gran capacidad de carga, junta a una precisa regulación de la velocidad.
- ◆ **Eléctricos:** Son los más usados, por su fácil y preciso control, así como por otras propiedades ventajosas que establece su funcionamiento, como consecuencia del empleo de la energía eléctrica.

En nuestro caso se optó por actuadores de tipo eléctrico, ya que presentan varias características que nos convienen, tales como: precisión, facilidad de control y sencillez de instalación. La desventaja que presentan este tipo de actuadores es su potencia limitada, aunque en este caso no nos afecta ya que no se necesita que desplacen grandes cargas [16].

El sistema de accionamiento del microrobot está compuesto por un motor de corriente continua y seis servomotores. El motor de corriente continua moverá la cinta elevadora, mientras que los servomotores transmitirán su movimiento a las palas de recogida y construcción, la barrera de seguridad y la bandeja del dintel.

4.3.1. Motor cc cinta elevadora

Para mover la cinta elevadora se ha empleado un motor reductor modelo S330135 de 7,2 V con engranajes de reducción de relación 30:1, indicado para su utilización en robótica, con una velocidad angular de 291 revoluciones por minutos en vacío, un consumo de 120 mA y una fuerza de 3,9 Kg/cm. Se puede destacar de este motor que tiene la opción de usarse a 12 V siempre y cuando no sea de forma continua. El eje del motor es de 6 mm y se acopla perfectamente con el eje motriz de la cinta elevadora. Además, incorpora un soporte de aluminio modelo S360214 que facilita el montaje en cualquier superficie.

Un punto muy importante a tener en cuenta es que los tornillos de montaje no deben penetrar más de 6 mm en el cuerpo del motor, ya que de lo contrario pueden dañar los engranajes del mismo o retenerlos, llegando en consecuencia a quemar el motor [17].



Ilustración 4.3.1.1 : Motor cinta transportadora de CC.

4.3.2. Servomotores

Un servomotor (también llamado servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radiocontrol y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo, conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos [2].

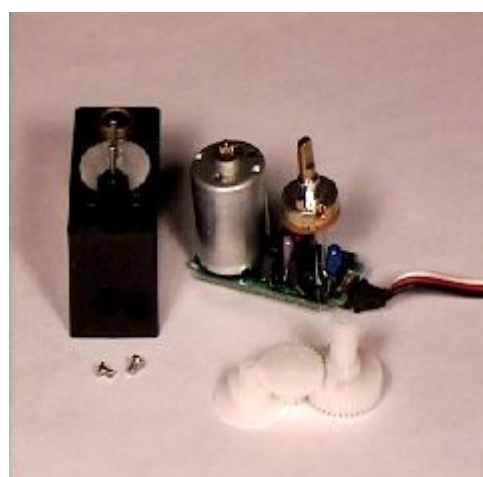


Ilustración 4.3.2.1: Circuito interno de un servo.

Los servomotores poseen tres terminales de entrada:

1. Terminal positivo: Recibe la alimentación del motor (4 a 8 voltios).
2. Terminal negativo: Referencia tierra del motor (0 voltios).
3. Entrada de señal: Recibe la señal de control del motor.

Los colores del cable de cada terminal varían con cada fabricante: el cable del terminal positivo siempre es rojo; el del terminal negativo puede ser marrón o negro; y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo [2].

El principio de funcionamiento es el mismo, independientemente del modelo, e incluso del fabricante. Para posicionar el servomotor con un ángulo determinado, se enviará una señal encriptada que recibirá su circuito de control. Éste la procesará y si la posición a la que equivale esta señal, coincide con la que tiene el servo, mantendrá la posición. De lo contrario girará hasta encontrar la posición solicitada.

La señal encriptada es una señal cuadrada de voltaje. El ángulo de ubicación del motor depende de la duración del nivel alto de la señal (Ton). A este tipo de control se le denomina PCM (Modulación Codificada de Pulsos). Hay que tener en cuenta que para bloquear el servomotor en una posición, es necesario enviarle continuamente una señal con la posición deseada. De esta forma el servo conservará su posición y se resistirá a fuerzas externas que intenten cambiarlo de posición. Si los pulsos no se envían, el servomotor queda liberado, y cualquier fuerza externa puede cambiarlo de posición fácilmente [2].

Cada servo motor dependiendo de la marca y modelo utilizado, tiene sus propios márgenes de operación. Los servomotores elegidos, para el microrobot, son de la marca FUTABA y el modelo es el S3003 Standard. Éstos se ajustan perfectamente al peso, tamaño y voltaje de alimentación requeridos para su función en el microrobot.



Ilustración 4.3.2.2: Dimensiones servo Futaba S3003.

Estos servos se alimentan a 7V, y el rango de tiempo en que se puede mantener la señal de control a nivel alto oscila entre 0.3 y 2,1ms (0° y 180° respectivamente). Siendo 1,2ms la posición central, el ángulo de posición θ viene dado por la expresión:

$$t = 0,3 + \theta/100$$

donde t está dado en ms y θ en grados.

En la siguiente figura se pueden ver algunos de los valores usados en un servomotor:

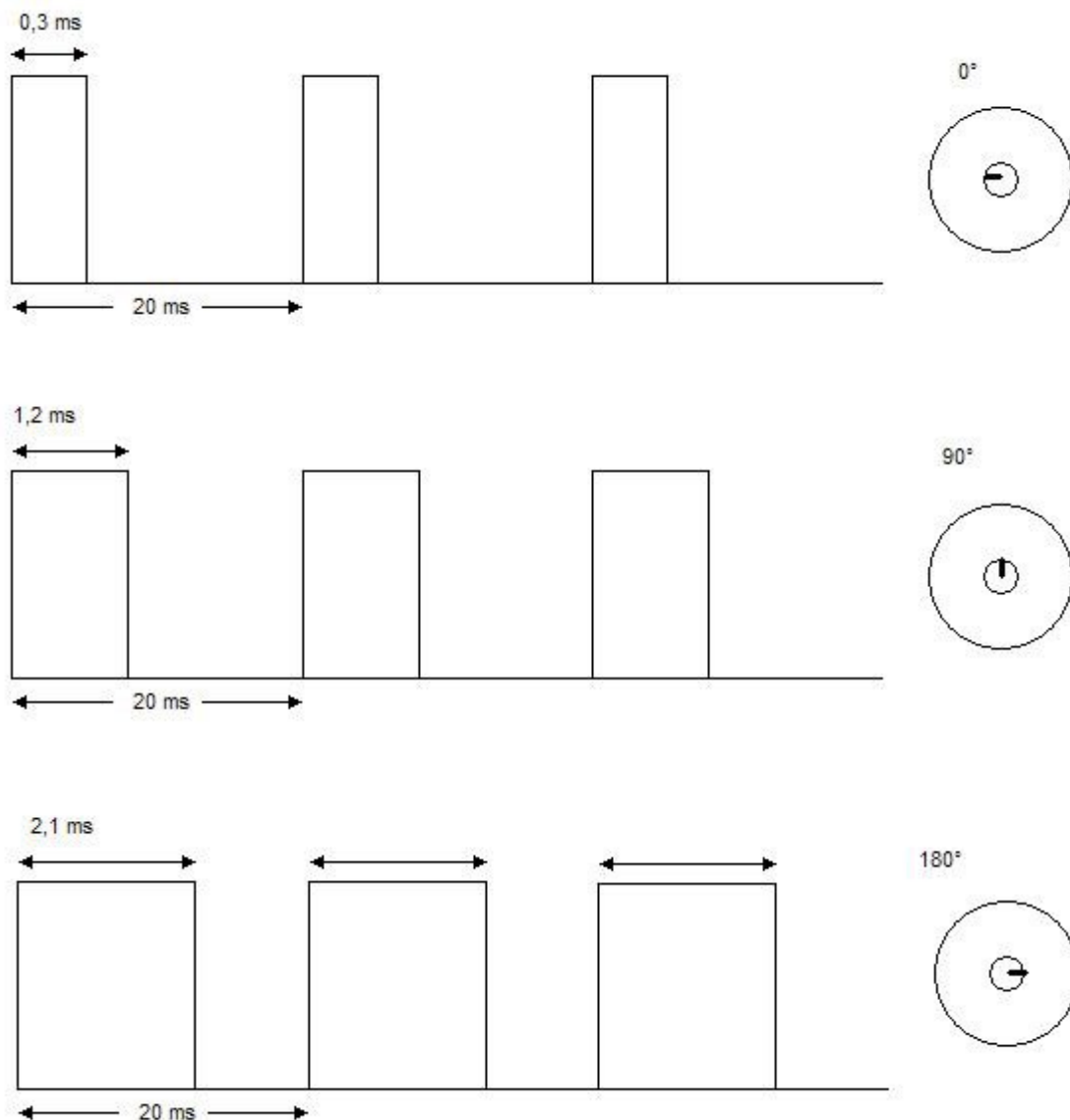


Ilustración 4.3.2.3: Ejemplos de ángulos de un servo

Para este proyecto se han usado seis servomotores S3003, cada uno de ellos será el encargado de de accionar una de las partes móviles del robot. En el *capítulo 6: Sistema de construcción*, (pág. 69), se podrán ver los elementos a los que gobiernan y la funcionalidad de estos mismos.



Capítulo 5

5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y ELECTRÓNICA

Todo robot autónomo necesita poseer un sistema de alimentación propia con el que abastecer al resto de los sistemas. Este sistema está compuesto por una fuente de energía y la electrónica de potencia.

Además de las etapas de potencia, el microrobot necesitará otro tipo de electrónica como puede ser: la electrónica de control y el acondicionamiento de señal.

A lo largo de este capítulo se describirán estos componentes del robot y sus características principales.

5.1. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Como ya se ha comentado, es fundamental para la autonomía del robot diseñar un sistema de alimentación capaz de abastecer a todos los sistemas, pero también habrá que tener en cuenta las limitaciones que resultan de las normas del concurso.

Observando la normativa del “Eurobot 09” sobre las fuentes de energía, se pueden destacar los siguientes puntos a cumplir:

- ◆ Queda prohibido el uso de motores de explosión, motores de cohetes, pilas de hidrógeno, o de cualquier otro tipo inflamable o pirotécnico, seres vivos y fuentes de energía radioactiva de cualquier tipo.
- ◆ Cada robot tendrá que ser capaz de jugar dos partidos sucesivos sin necesidad de cambiar o recargar su fuente de alimentación.
- ◆ Se tendrán que cumplir los estándares legales de “*bajo voltaje*”, por lo cual su voltaje nunca podrá exceder de 48 voltios.



También habrá que tener en cuenta el consumo energético de los sistemas del robot. El sistema de alimentación deberá proporcionar la energía suficiente a los siguientes sistemas [17]:

- ◆ Sistema locomotor.
- ◆ Sistema sensorial.
- ◆ Sistema de control.
- ◆ Sistema de construcción.

5.1.1. Fuente de alimentación

Las baterías son el método más utilizado en robots autónomos como sistema de almacenamiento de energía. Son dispositivos que obtienen energía eléctrica mediante un proceso electro-químico. Dependiendo de los elementos que intervienen en este proceso químico, se pueden diferenciar varios tipos de baterías, cada una con sus cualidades propias.

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, habrá que tener en cuenta las necesidades de consumo. Se necesitaba una batería capaz de suministrar 12 V y que cubriera las demandas de corriente requeridas por los sistemas. Cuando todos los sistemas actúan simultáneamente la demanda de corriente es de 1,5 A con picos de 5,4 A al acelerar los motores.

Era importante situar la batería lo más centrada posible, por lo que se requería una batería que cupiese en la plataforma de la estructura central y a ser posible con forma rectangular, para facilitar su colocación.

Otra de las características físicas que hubo que tener en cuenta fue el peso. En este caso será una ventaja el peso elevado, ya que se requería un contrapeso en la parte delantera del robot de al menos 1 Kg.

Para esta aplicación se decidió usar baterías de plomo ácido, en especial una de plomo/gel por su bajo coste, larga duración, gran gama de capacidades y la gran variedad existente de tamaños rectangulares. Este tipo de baterías son pilas individualmente formadas por un ánodo de plomo, un cátodo de óxido de plomo y ácido sulfúrico como medio electrolítico. Su mayor inconveniente es la aparición de fugas de ácido si la batería no mantiene su posición vertical. Para eliminar este problema aparecieron las baterías de plomo/gel, aunque éstas si padecen de efecto memoria.

Al final se optó por una batería modelo NPH5-12 5Ah de YUASA. Se trata de un modelo de batería estacionaria con un voltaje nominal de 12 V y una capacidad de 5Ah, con lo que se cubre con creces la demanda de los sistemas del robot.

Esta batería ofrece una larga duración y una baja auto descarga, y gracias a estas características se podría participar en dos partidos consecutivos sin necesidad de cambiarla. Este modelo de la serie H de YUASA, que posee una alta capacidad en descarga rápida, era ideal para los picos demandados por los motores en los momentos de arranque y movimientos rápidos.

La forma de este modelo se adapta a las condiciones deseadas y su peso es perfecto para el reparto de pesos diseñado. (Ver 4.1. Estructura, pág 34).



Ilustración 5.1.1.1: Batería NPH5-12 de YUASA.

Como se puede observar en la ilustración superior, a las baterías se les incorporó un conector molex para facilitar el conexionado con las placas de potencia y la placa base, ya que según dicta la normativa, se deben poseer dos baterías para poder realizar cambios en caso de necesidad, facilitándose así el proceso de recambio de las baterías, además de asegurarse una buena conexión.

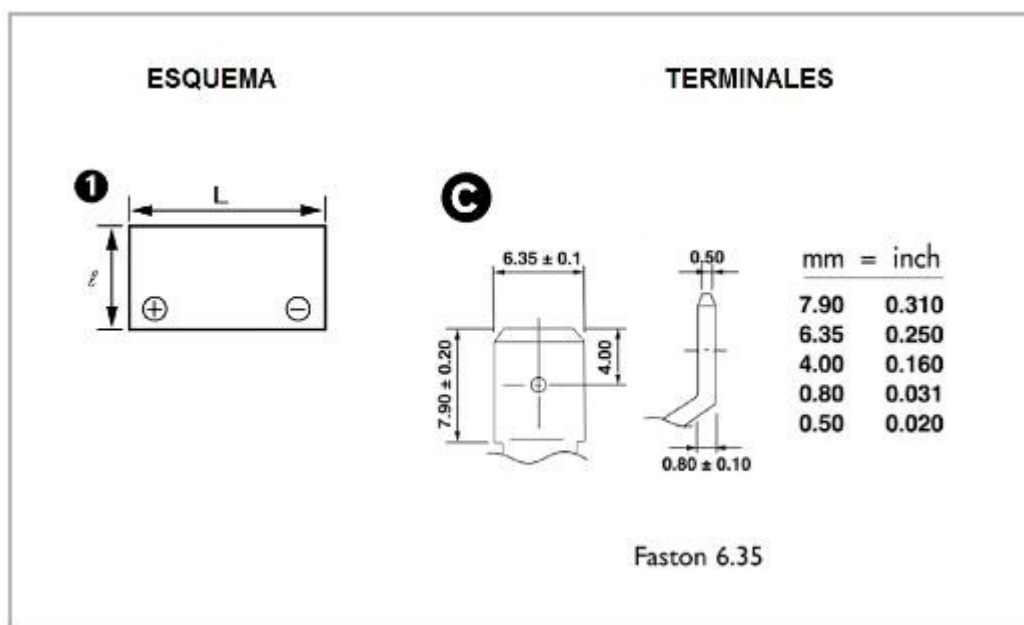


Ilustración 5.1.1.2: Detalle conector de la batería NPH5-12 de YUASA.

Características principales de la batería NPH5-12 [18]:

Atributo	Valor
Tensión nominal	12 V
Capacidad	5 Ah
Tipo terminal	Lengüeta Faston 250
Temperaturas de funcionamiento	5 – 35°C
Dimensiones	90 x70 x 102 mm
Capacidad nominal	5 Ah
Peso	2 Kg

5.1.2. Etapas de potencia

Es necesario adecuar la tensión de entrada de cada sistema según sus necesidades para obtener un funcionamiento correcto de estos. En el robot se necesitan varios valores de tensión:

- 12 V, necesarios para la alimentación de los motores de tracción y la placa base.
- 7 V, para los encoders y el motor de la cinta transportadora.
- 5 V, para alimentar la placa esclava de control y los sensores infrarrojos.

Por lo tanto se necesitarían dos etapas de potencia encargadas de adaptar la tensión entregada por la batería (12 V) a los niveles requeridos por los sistemas, 5 V y 7 V. Para obtener estos niveles de tensión, se diseñaron dos placas basadas en el regulador LM2599S siguiendo las indicaciones del fabricante.

Connection Diagrams and Order Information



Ilustración 5.1.2.1: Diagrama de conexión del regulador LM2599S.

El regulador LM2599S es un circuito integrado monolítico que proporciona todas las funciones activas de un reductor de voltaje y es capaz de transmitir 3 A a la salida del circuito. La tensión de entrada al regulador podrá llegar a los 40 V. Este dispositivo está disponible con voltajes fijos de salida de 3.3 V, 5 V, 12 V y una versión de salida ajustable.

De este modo, se usó un regulador LM2599S-5.0 con voltaje de salida fijo a 5 V, adoptando el siguiente esquema para el diseño de la placa de potencia que proporcionaría los 5 V:

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)

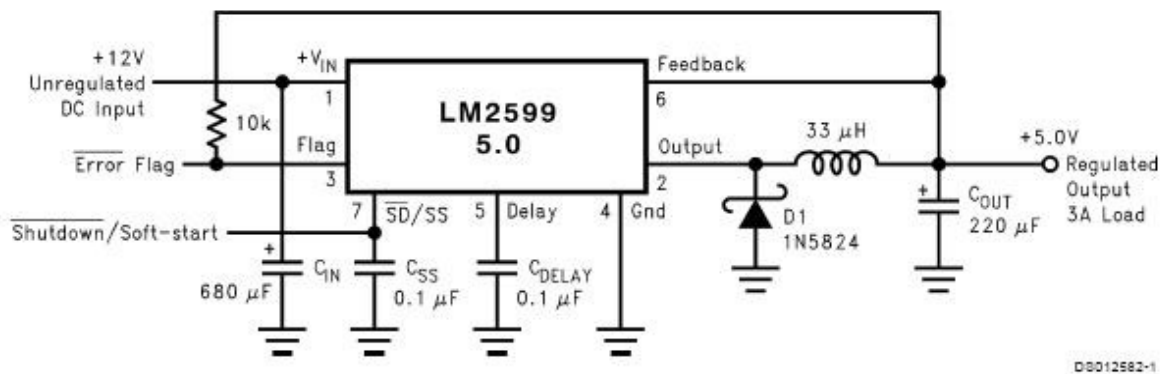


Ilustración 5.1.2.2: Circuito para obtener 5 V a la salida mediante el regulador LM2599S-5.0.

Como no hay un regulador con el que obtener un a salida fija de 7 V, se diseñó otra placa de potencia a través de un regulador LM2599S-ADJ, es decir la versión con salida ajustable. A continuación se presenta el esquema que se siguió:

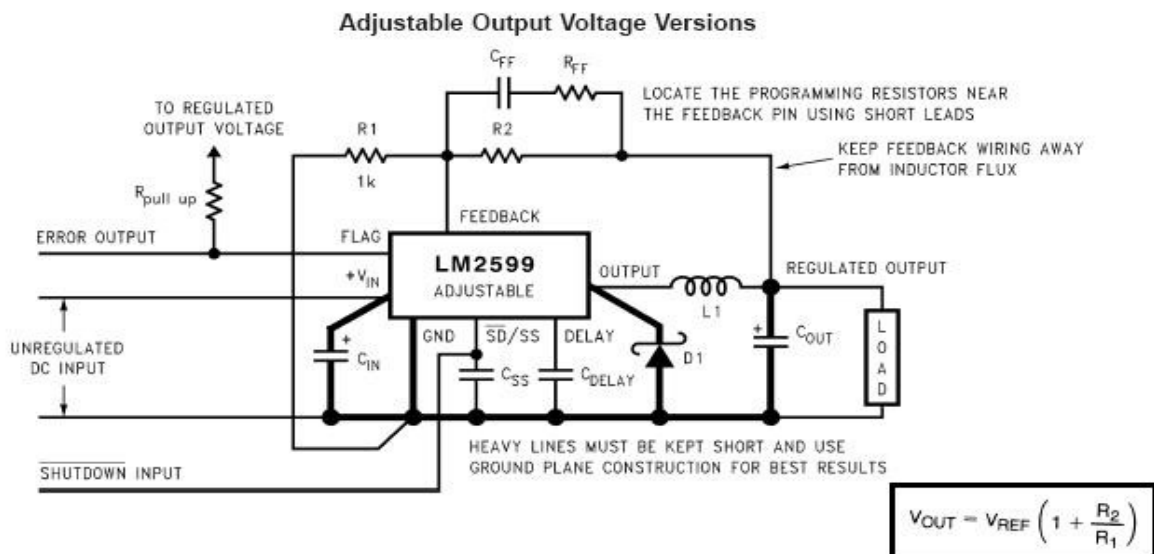


Ilustración 5.1.2.3: Circuito para obtener 7 V a la salida mediante el regulador LM2599S-ADJ.

Para la obtención de los valores de los componentes se siguieron las instrucciones proporcionadas por el fabricante en las hojas de características.

Como se puede observar en la siguiente fotografía, las entradas y salidas de ambas placas de potencia, se hacen mediante clemas, consiguiendo así que al ir atornillado el cable, se asegura la conexión. Este tipo de clemas tienen una parte que va soldada al circuito en la que se encaja la parte donde están los cables, facilitando así el conexionado y desconexión cuando es necesaria una revisión.

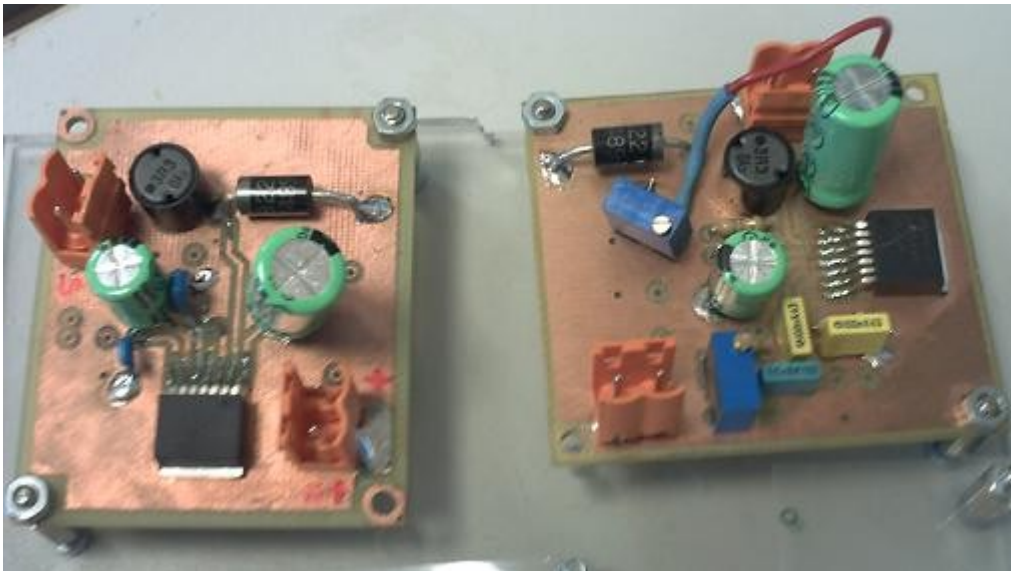


Ilustración 5.1.2.4: Placas de potencia de 5 V y 7 V mediante reguladores LM2599S.

5.1.3. Placa de drivers

Los motores elegidos necesitan una etapa intermedia que traduzca las señales de control y suministre la energía necesaria en cada momento. Esta etapa es la placa de drivers.

El elemento de mayor importancia en esta placa es el driver. Los drivers son dispositivos ideados para aplicaciones de control de movimiento, mediante los cuales se puede controlar la velocidad y el sentido de giro de los motores. Su elección se hace en base a los motores escogidos, que como se ha dicho en el punto 4.2.2. *Motores* (pág. 52), son unos motores de corriente continua modelo MR 615 30 Q de la marca Bernio. Las características que más nos interesan para esta elección son su tensión de alimentación nominal a 12 V, una corriente nominal de 1.2 A y corrientes de pico que llegan hasta los 5.4 A.

En base a las características que se han citado en el párrafo anterior, se escogió un driver modelo LMD18200T que puede operar en un rango de tensiones entre los 12 V y los 55 V y que es capaz de soportar corrientes nominales de 3 A y corriente de pico de hasta 6 A. Dado que los valores en los que trabajan los motores están dentro de los rangos del driver LMD18200T, lo hacen ideal para esta aplicación.

Connection Diagrams

11-Lead TO-220 Package
Top View
Order Number LMD18200T
See NS Package TA11B

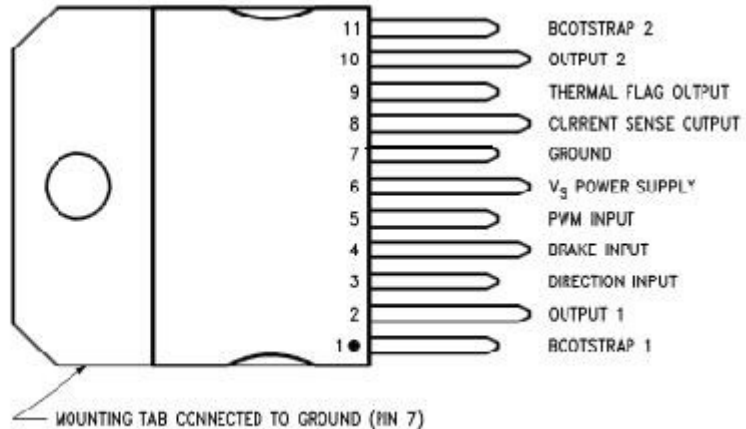


Ilustración 5.1.3.1: Esquema de conexión del driver LMD18200T.

El driver posee una configuración en puente H que permite un control sencillo mediante tres señales de entrada: “Direction input” (pin 3), dirección; “Brake input” (pin 4), señal de freno; y “PWM input” (pin 5), velocidad. Estas tres señales de entrada se generarán en el microcontrolador. Mientras que el freno es una señal continua, las señales de dirección y velocidad serán señales PWM. Si la PWM asociada a la dirección tiene un ciclo de trabajo del 50 % los motores no girarán, mientras que si lo hacen con un ciclo de trabajo del 25 % girarán en un sentido y si es del 75 % lo harán en el opuesto. Sin embargo, la PWM asociada a la velocidad tendrá un ciclo de trabajo proporcional a la velocidad a desarrollar.

En función de las señales recibidas por los drivers, estos darán a salida a los motores para que realicen el movimiento deseado. Esta información se transmitirá a los motores a través de una señal diferencial, que se obtendrá a través de las salidas “Output 1” (pin 2) y “Output 2” (pin 10).

Functional Diagram

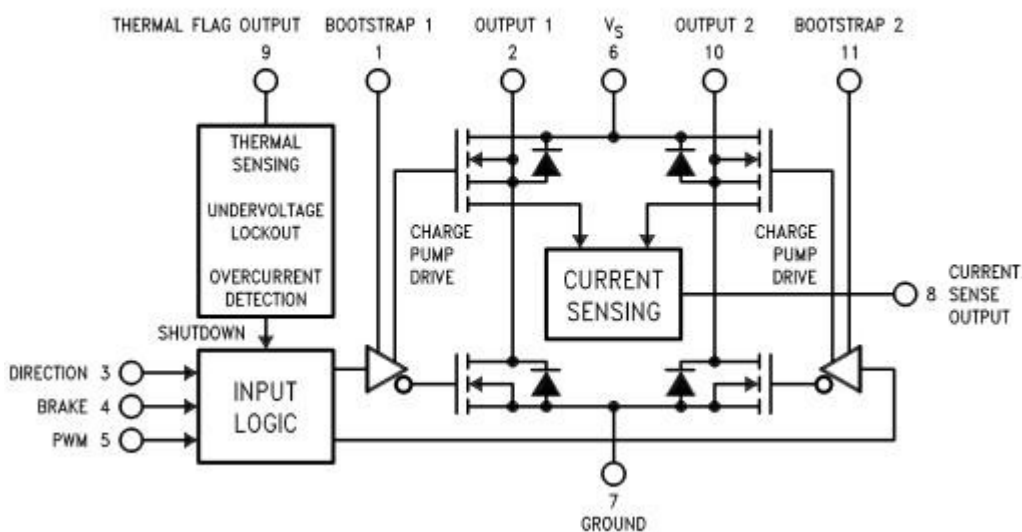


Ilustración 5.1.3.2: Diagrama de bloques del driver LMD18200T.

El modelo de motor utilizado posee un encoder óptico integrado, el cual entrega información sobre el movimiento realizado por los motores. Así, la placa de drivers también se encarga de transmitir esta información al sistema de control y de suministrar tensión a estos encoders, que será diferente a la de los motores como ya se ha comentado en el apartado anterior 5.1.2 *Etapas de potencia*.

Como los motores escogidos son totalmente independientes, necesitan que su control se haga por separado. Por ello la placa de driver se diseñó con el circuito de control por duplicado, minimizando así el número de placas necesarias. Para evitar errores de conexionado se utilizaron conectores IDC. También se incorporaron conectores molex para facilitar las pruebas.

El circuito se diseñó para poder usar todas las entradas, pero tras varias pruebas se observó que la entrada de freno no funcionaba correctamente. Debido a ruido o a pequeñas fluctuaciones en la señal entregada por el microcontrolador, se activaba el freno por error, lo que impedía el movimiento correcto de los motores. Por ello se decidió poner la entrada de freno directamente a masa, ya que la señal a nivel bajo deja libre los motores. No era un problema carecer de esta entrada, ya que los motores se pueden frenar mediante la señal de dirección.

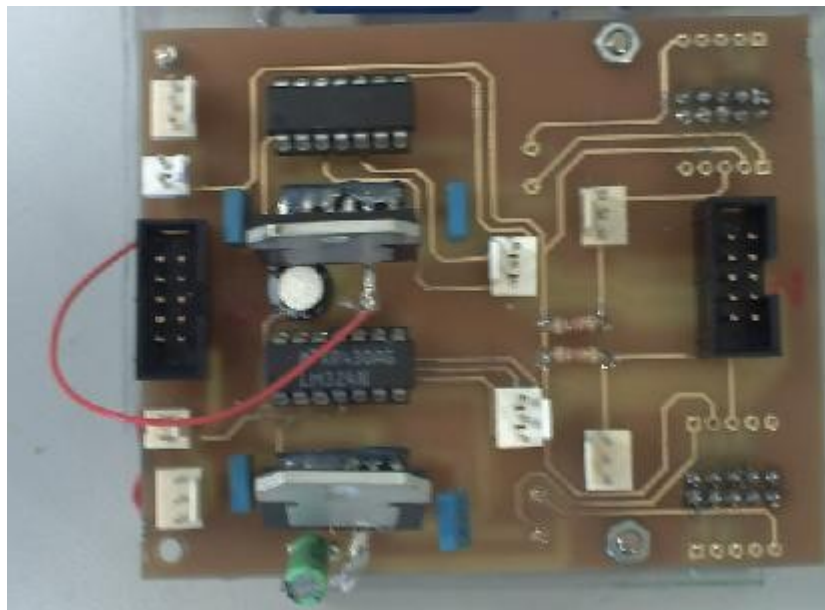


Ilustración 5.1.3.3: Placa de drivers.

5.2. PLACAS DE CONTROL

El control es una de las partes fundamentales del proyecto, ya que sin él no se podría dotar al robot de autonomía. El sistema de control se dividiría en dos partes: una placa base que tendría los programas principales y a la que le llegarían todas las entradas de los sensores, y una placa esclava que traduciría las ordenes a señales comprensibles por los actuadores.

Los detalles, tanto de la comunicación como de la información que tratan cada una de ellas, se verán con mayor detalle en el *capítulo 7. Sensorización y control* (pag. 86).

La placa base seleccionada para los programas principales, es el modelo TS-7350 de Technologic Systems. Esta se basa en el microprocesador Cirrus EP9302 200MHz ARM9, y posee 64MB de memoria RAM, puertos ethernet, USB 2.0 y serie, lector de tarjetas SD y entradas y salidas tanto digitales como analógicas. La ejecución de los programa se realiza sobre sistema operativo Linux.



Ilustración 5.2.1: Placa base TS-7350.

La placa esclava, que compone el nivel bajo de programación, se rige por un microcontrolador 8052 con las entradas y salidas necesarias para su comunicación con la placa base (puerto serie), con los motores (conectores IDC) y con los servos (molex). Esta placa también incorpora unos diodos de test que nos indicarían si está bien alimentada y si se encuentra en modo programación o en desarrollo del programa.



Ilustración 5.2.2: Placa de control basada en el microcontrolador 8052.

5.3. PLACAS DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

Como se verá más adelante en el *Capítulo 7. Sensorización y control* (pag. 86), se han utilizado unos sensores de infrarrojos con salida analógica. Al necesitar solamente para el control entradas digitales, se hizo un circuito de acondicionamiento para obtener señales a nivel alto o bajo. De esta manera, se convertirá la señal analógica proporcionada por el sensor (V_o) a una señal digital. Para ello se conectará a la salida del sensor un amplificador operacional LM324 en configuración de comparador [1].

Este amplificador se encargará de comparar la señal de tensión emitida por el sensor con una tensión fijada mediante un potenciómetro, colocado a modo de divisor de tensión en la pata negativa del amplificador, de forma que si la tensión suministrada por el sensor es mayor a la fijada a través del potenciómetro, la salida del amplificador se pondrá a nivel alto, lo que significaría que se ha detectado un objeto. De esta manera, al modificar el valor del potenciómetro, se podrá variar el rango de detección según la distancia que se necesite conocer desde cada sensor, haciéndole llegar al controlador la información ya depurada.

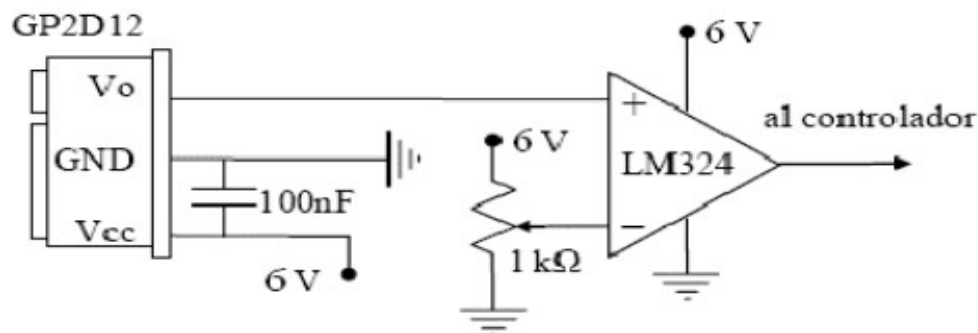


Ilustración 5.3.1: Esquema de acondicionamiento para sensores infrarrojos.

Para el robot *Iron Paco* se hicieron dos tipos de placas:

- La simple:
Donde sólo habría un circuito de acondicionamiento, para poder conectarlas lo más cerca posible de los sensores que se encuentren lejos de los demás y así poder tratar la señal con el menor ruido posible.

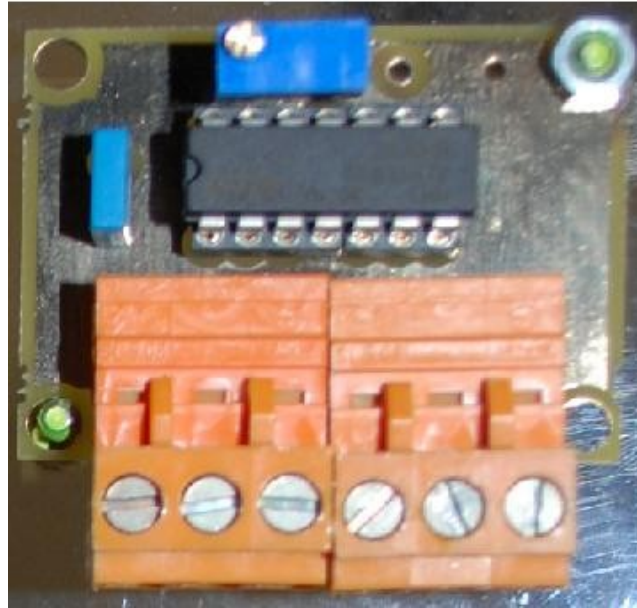


Ilustración 5.3.2: Placa simple de acondicionamiento de señal.

- La múltiple:
En ella habría cuatro circuitos de acondicionamiento independientes los unos de los otros, para minimizar el número de placas usadas. Estas placas tendrían conectados sensores de la misma zona, para poder estar también lo más cercano posible a ellos.

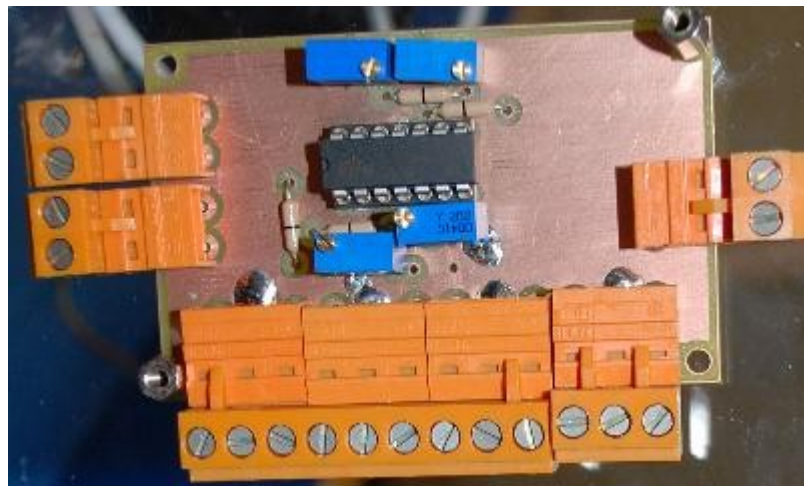


Ilustración 5.3.3: Placa múltiple de acondicionamiento de señal.

5.4. OTRAS PLACAS ELECTRÓNICAS

El motor de corriente continua, asociado a la cinta elevadora, necesita un sistema intermedio entre él y la placa esclava, ya que no tiene entradas de control, por lo que se introdujo un interruptor entre el motor y la alimentación para que no consuma mientras no es necesario su funcionamiento. Este interruptor está implementado con un MOSFET y una resistencia asociada, tiene un conector molex que se conectara a los bornes del motor y una clema a la que entraría la alimentación y la señal de control.



Ilustración 5.4.1: Interruptor para el motor asociado a la cinta elevadora.

Para la conexión entre las distintas placas de potencia y de control se diseñó una “placa intermedia”, que funcionaba de lazo de unión entre éstas, facilitando así el conexionado y reduciendo el número de cables necesarios.



Ilustración 5.4.2: Placa intermedia.



Capítulo 6

6. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN

El sistema de construcción es una parte fundamental del microrobot, ya que gracias a él se conseguirá puntuar; y como se ha dicho antes si no se puntuó, el partido se dará como perdido.

Para poder edificar los templos, el robot necesita varios actuadores y subsistemas que se engloban dentro del sistema de construcción. Los elementos que conforman dichos sistemas son: las palas de recogida, la cinta elevadora, la bandeja y las palas de construcción. Cada pala irá solidaria a un servomotor, mientras que la cinta transportadora se accionará mediante un motor de corriente continua de tres polos. Estos sistemas que conforman a su vez el de construcción, tendrán que estar bien coordinados, ya que si uno falla la construcción no se llevaría a término.

6.1. LA RECOGIDA

Para la recogida se quiso hacer un sistema versátil con el que poder coger los elementos columna tanto de los dispensadores como de la superficie del tablero, pudiendo así tener la posibilidad de crear a lo largo del proyecto más estrategias. Estas palas comenzarán los encuentros recogidas en el interior del robot, para poder cumplir las exigencias de perímetro inicial.

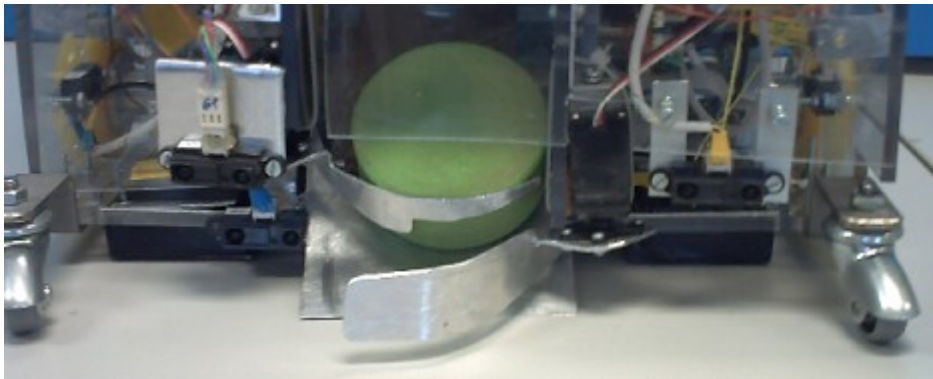


Ilustración 6.1.1: Detalle de la recogida.

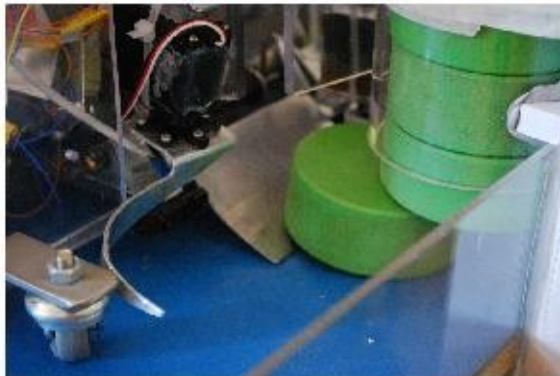
Una de las palas serviría para recoger las columnas. Esta se hizo de la longitud necesaria para dar la mayor cobertura posible el contorno de las columnas y sin que la pala chocase con la pared trasera que sustenta el dispensador al hacer la recogida.

Para poder arrastrar las piezas, la punta de esta pala tenía una curvatura igual a la de las columnas. Dentro del robot la pala estaría inclinada respecto al terreno, para poder subir las columnas a la cinta inclinada. A esta pala la se denominará pala estrecha, y estará situada en la parte delantera derecha del robot e irá sujeta al armazón de la cinta transportadora.

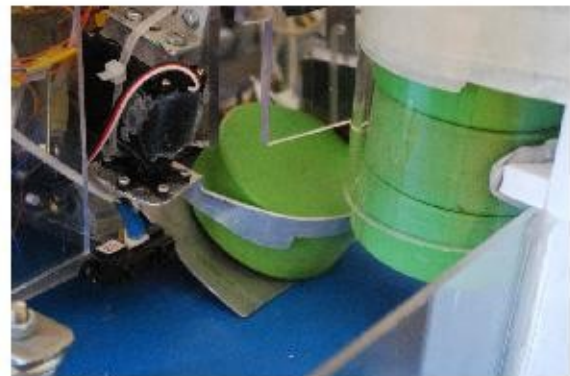
La otra pala cumple una doble función en la recogida: la primera es impedir que las columnas se salgan del radio de acción de la pala curva, y la segunda es facilitar la recogida en los dispensadores, evitando que el robot tuviera que alejarse del dispensador o desechar una de las columnas contenidas en el dispensador al desplegar de nuevo la pala.

Para ello, lo único que hace esta pala para evitar el problema, es sujetar la pieza inmediatamente superior a la que se está recogiendo, hasta que la pala estrecha vuelva a estar totalmente abierta. La forma de la pala es rectangular y también tiene una pequeña curvatura, aunque menor que la de la pala estrecha. Sus dimensiones son 900 mm de largo y 19 mm de ancho. La parte superior de esta pala está situada a 290 mm del terreno, sobresaliendo por encima de la pala estrecha en sus posiciones intermedias. El motivo de que esta pala sea mucho más ancha es que debe sujetar un peso que puede llegar hasta los 400 g.

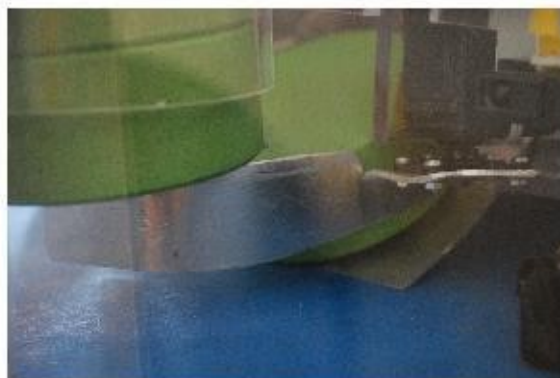
De esta manera la secuencia de recogida queda de la siguiente forma:



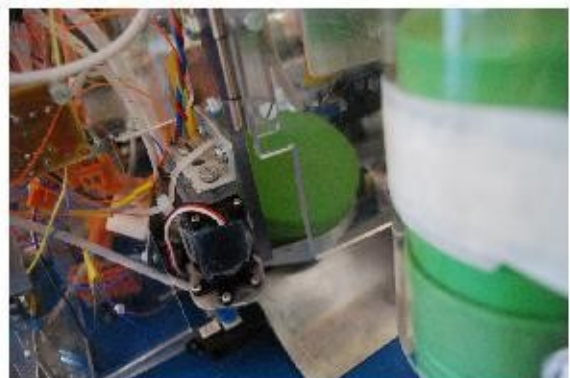
1º- Pala ancha perpendicular al robot, comienza a arrastrar la columna.



2º- Pala estrecha en primera posición, la columna no ha terminado de salir.



3º- La pala ancha pasa a su segunda posición, situándose a la mitad de la columna inmediatamente superior.



4º- Pala estrecha totalmente cerrada, sube el elemento a la cinta elevadora.



5º- Pala estrecha a posición inicial, la pala ancha sujeta las columnas.



6º- Pala ancha totalmente abierta, los elementos columna caen al terreno.

Ilustración 6.1.2: Secuencia de recogida.

Antes de llegar a la cinta elevadora, las piezas debían salvar la distancia del eje libre de la cinta al suelo y el ancho del propio eje. Por ello se construyó una rampa que comenzara a ras de terreno, por donde tiene su menor grosor, para facilitar la subida de las columnas; mientras que en el extremo superior cubría el eje libre de la cinta elevadora, además de sujetar por los laterales este mismo eje.

Para conseguir que las palas antes citadas fueran eficaces, se hicieron varios prototipos hasta dar con la mejor solución. El material usado para construir las palas y la rampa mencionadas, fue aluminio de 2 mm de grosor, principalmente por su ductilidad, ligereza y porque ofrecía la resistencia necesaria para la función a la que estaba destinado. El movimiento de las palas se transmite a través de los servomotores FUTABA 3003-S, anteriormente descritos en 4.3.2. *Servomotores*, (pág. 54).

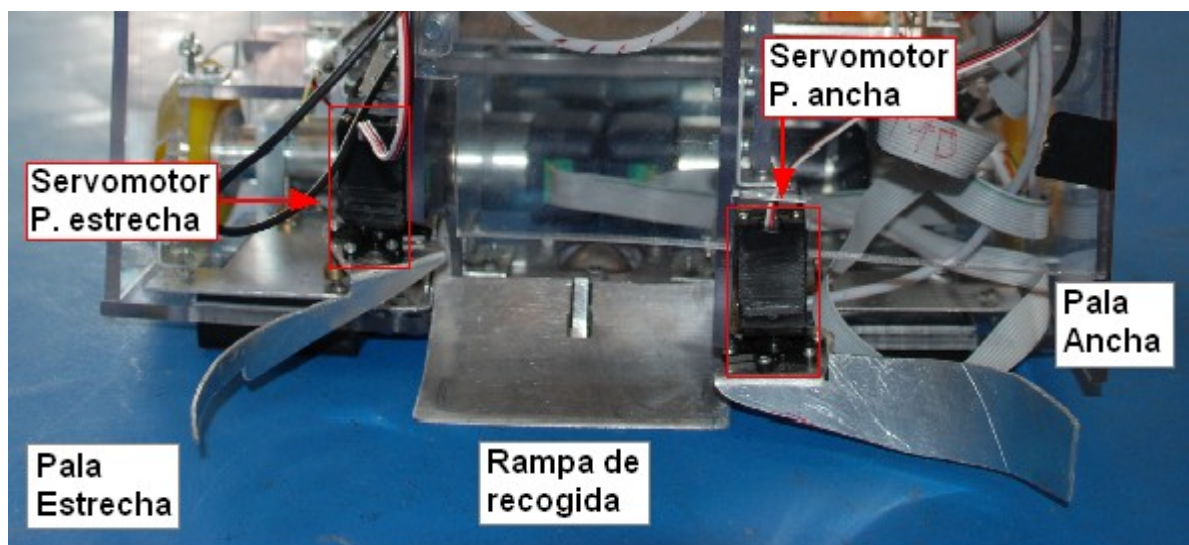


Ilustración 6.1.3: Componentes del sistema de recogida.

6.2. LA ELEVACIÓN

Esta parte del sistema de construcción, debe llevar los elementos columna a una altura suficiente como para poder edificar el templo en el área de construcción central, **3** (Véase la *Ilustración 3.1.3: Áreas de construcción*, página 32). Dicha altura será la suma de la altura a la que se sitúa la bandeja, más la de una columna, más 5 mm adicionales para permitir una pequeña caída de la tercera y cuarta columna sobre el primer y segundo elemento columna, situados previamente sobre la bandeja. Es decir, la cinta elevará las columnas 100 mm sobre el terreno de juego.

Como no hay cintas comerciales con las medidas necesarias para cubrir las necesidades del robot, esta se construyó con una cinta de caucho de 2 mm de grosor, cuyo ancho es de 75 mm y su longitud total es de 330mm. El material se eligió por su elasticidad. Para cerrar dicha cinta, se usó un pegamento de secado rápido y con propiedades elásticas.

La línea de unión entre los extremos de la cinta, forma un ángulo de 45° , lo que se hace para repartir la tensión entre los puntos de la unión, especialmente cuando ésta pasa por encima de alguno de los ejes, evitando así que toda la línea de unión se sitúe a la vez sobre estos mismos ejes.

Tras varias pruebas de elevación de los elementos columna, se vio que la fricción de la cinta con la pintura de las piezas, no siempre era la suficiente para llevar las columnas a la altura deseada, ya que la inclinación de la cinta era bastante elevada, siendo de 30° respecto a la horizontal. El problema se solucionó incluyendo cuatro tiras del mismo material que el resto de la cinta. Estas tiras, con un ancho de 5 mm, se colocarían también con un ángulo respecto del eje de la cinta de 45° , mientras que su largo cubriría todo el ancho de la cinta. La separación entre estas tiras es de 82 mm, espacio suficiente para contener entre dos de ellas una columna sin que ésta choque con la tira inmediatamente superior.



Ilustración 6.2.1: Detalle de la cinta elevadora.

Para mover la cinta era necesario un motor con un par suficiente para vencer la tensión generada por la cinta, y con un tamaño reducido para poder ubicarlo sin problemas dentro del robot. Se eligió un motor reductor de corriente continua de 12 V y 200 rpm en vacío, y con una fuerza de 8,8 kg/cm, modelo S330120. Este motor incluye un soporte de aluminio, modelo S360214, para facilitar su montaje.

El eje superior de la cinta elevadora es el eje motriz, y para construirlo se recicló un eje de una impresora rota. Se escogió este eje por tener un diámetro pequeño (10 mm) y además por tener una forma y unas almohadillas que contribuían al agarre de la cinta, lo que se traduce en una tensión menor de la cinta y por tanto en una corriente de alimentación del motor menor. El eje se cortó con una longitud de 80 mm.

A este eje se le practicó en la oficina técnica un taladro roscado concéntrico de 5 mm de diámetro y con una profundidad de 60 mm, mientras que en el extremo opuesto el taladro está hecho con las mismas dimensiones que el eje del motor reductor de corriente continua de 12 V, para poder encajarlo en este mismo y transmitir así la potencia de éste.

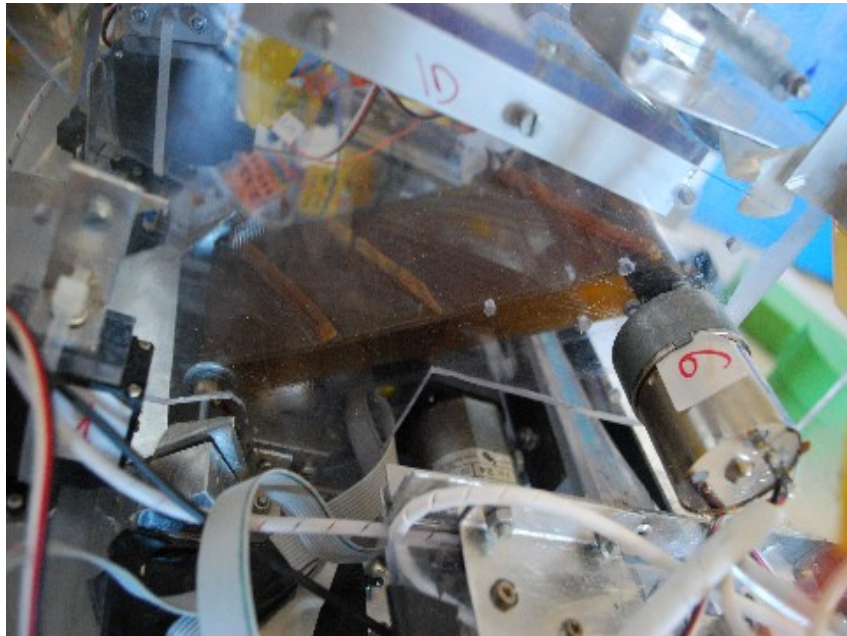


Ilustración 6.2.2: Vista lateral de la cinta elevadora y su motor de CC.

El problema principal de la construcción de una cinta transportadora es que las tolerancias que admite son muy bajas, siendo estas menores al 1%. Es decir, para que la cinta no se desplace, los ejes deben ser paralelos entre sí y con la horizontal, además de tener que estar las sujeciones de cada eje totalmente alineadas. Es muy importante que la cinta no se desplace, ya que al hacerlo puede llegar a retener el eje del motor reductor de corriente continua de 12 V, y si esto se produce durante un tiempo prolongado el motor se podría quemar. Para poder minimizar este efecto se intentó ir ajustando las posiciones de los ejes en cada etapa de la construcción, como se irá describiendo a continuación.

Como además era necesario un sistema que evitase que las columnas se salieran de la cinta, se hizo una gran estructura que ocuparía prácticamente toda la parte central del robot, a la que se le practicó un taladro en la misma posición en cada uno de los laterales, destinados a la sujeción del eje motriz. Estas paredes laterales de forma rectangular, de las mismas dimensiones que el interior del robot, iban unidas entre ellas con una plataforma de 100 mm de ancho y 150 mm de largo. Esta plataforma comienza en la parte posterior de la estructura y se sitúa a una altura de 120 mm sobre el nivel del terreno y paralela al mismo, y además de mantener la separación necesaria de las paredes, la plataforma sustentaría la batería.

También hay que resaltar que esta estructura central es de gran importancia ya que, además de estas funciones ya descritas, a ella irán anclados los servo-motores de recogida, el motor reductor de 12V, los circuitos impresos, etc.

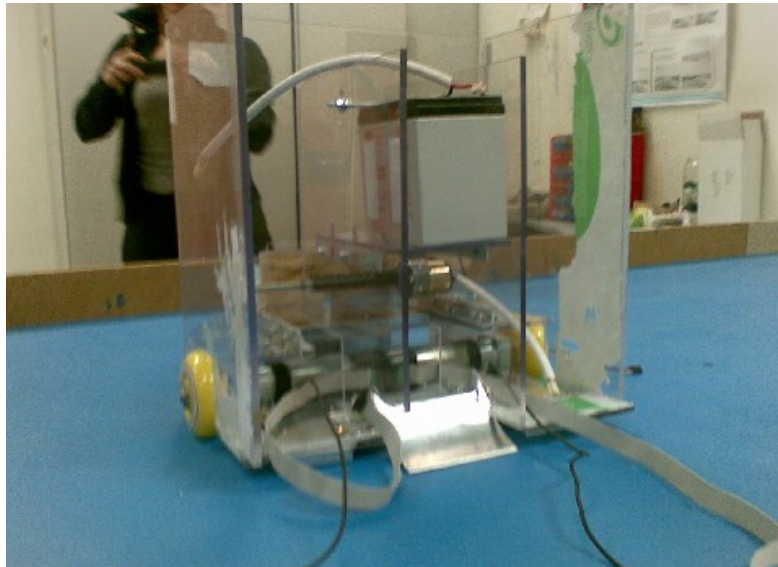


Ilustración 6.2.3: Estructura del robot.

Para que la estructura central tuviera sus paredes paralelas se le practicó otra pareja de taladros, uno en cada una de las paredes, ambos en la misma posición centrada y a 50 mm del borde superior, y por ellos se hizo pasar una varilla roscada con cuatro tuercas. Cada una de estas tuercas estarían situadas a un lado de cada una de las dos paredes, permitiendo así al mover cada pareja de tuercas, separar o acercar en este punto las paredes hasta conseguir el total paralelismo de las paredes de la estructura central.

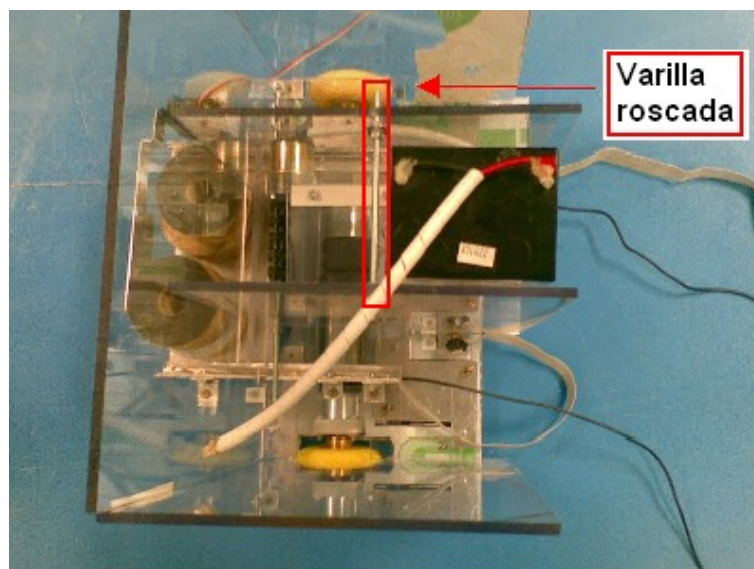


Ilustración 6.2.4: Vista superior de la estructura, y detalle de la varilla.

Una vez que las paredes ya eran paralelas, se anclaron en la parte central de la base paralelas a los laterales del robot. Y por último, se ajustó la rampa que es el soporte del eje inferior o solidario, para que quedase lo más paralelo a la horizontal y al eje motriz. Como la rampa es de aluminio de 2 mm y podría desgastarse con facilidad, se incluyeron dos soportes de aluminio pero con un grosor de 20 mm, engrasándolos para facilitar el giro.

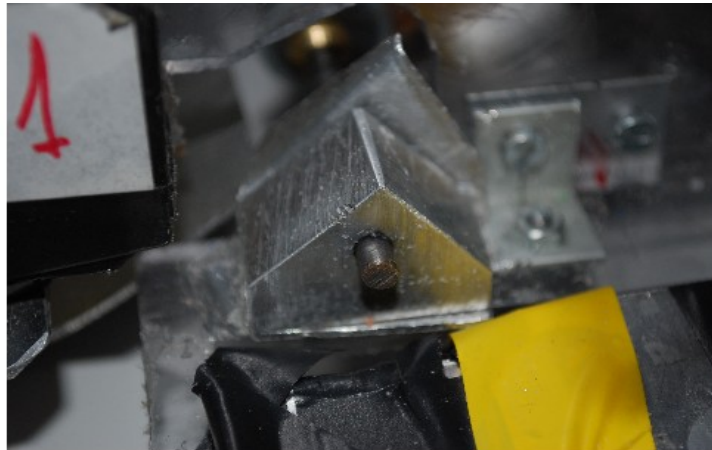


Ilustración 6.2.5: Detalle de sujeción del eje libre.

Aun habiendo intentado ajustar al máximo cada una de las partes, no fue suficiente, ya que al estar un largo periodo en funcionamiento la cinta transportadora, ésta se iba desplazando lateralmente.

Aunque para producirse esta desviación el tiempo de funcionamiento debía ser superior al tiempo medio de funcionamiento de la cinta necesario para cada partido, se busco una solución para no tener que centrar la cinta antes de cada partido. Se opto por probar el método más sencillo para corregir el problema, el cual consta de un prisionero con dos arandelas en el lado derecho, que es hacia donde se producía el desvío, con lo que se consiguió eliminar este desplazamiento indeseado.

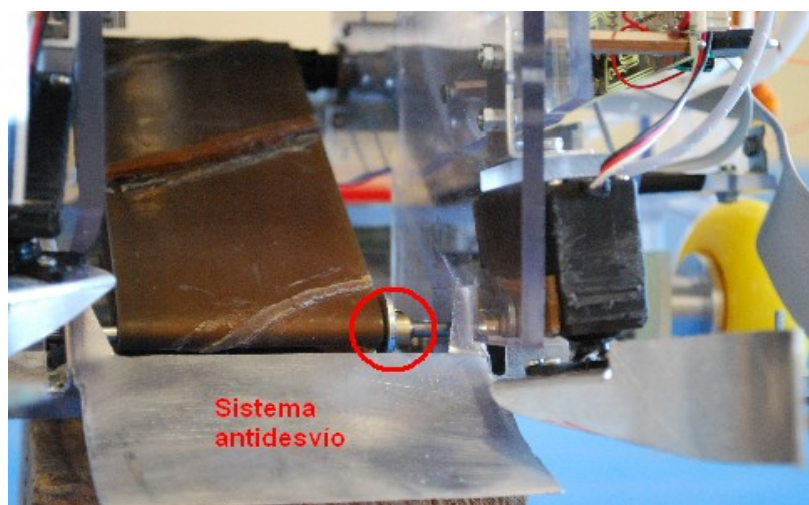


Ilustración 6.2.6: Detalle del sistema antidesvío.



6.3. EL MONTAJE Y LA CONSTRUCCIÓN

Una vez recogido y elevado el primer elemento columna, el sistema de montaje se pondrá en marcha simultáneamente al de recogida, ya que el lugar de almacenamiento de los elementos es el mismo que donde se van montando las dos columnas de dos elementos cada una. El sistema de montaje y construcción es el más complejo, ya que en él se engloban multitud de subsistemas como:

- Las palas de montaje.
- La barrea de seguridad.
- El sistema para dintel pre-cargado.
- La bandeja de construcción.

Todos estos sistemas se rigen por el movimiento de servomotores FUTABA 3003-S, antes descritos en 4.3.2. *Servomotores* (pág. 54), a excepción de la bandeja de construcción.

1. *Las palas de montaje:*

Estas palas tienen como finalidad colocar los elementos columna para montar dos columnas de dos elementos cada una, trasportando así el número de elementos máximos permitidos por el reglamento.

Tras varias pruebas con diferentes configuraciones, se optó por crear las palas con unos ángulos de aluminio de 1,5 mm de espesor y 10 mm de ancho cada lateral. El montaje se llevó a cabo por dos palas, una inferior y otra superior, amabas situadas en el lateral izquierdo de la parte posterior sobre la bandeja de construcción. La inferior tiene una longitud de 110 mm y se eleva 2 mm sobre la bandeja a la cual es paralela, y sería la encargada de colocar el primer elemento columna, empujándolo hasta el lado derecho. La pala superior se encuentra a 35 mm de la bandeja y su largo es de 120 mm. La primera función de esta pala superior es evitar que el segundo elemento columna (primer nivel del templo) quede en posición vertical para poder colocar seguidamente el tercer elemento columna (segundo nivel del templo) sin que éste quede retenido al ser empujado también por esta pala superior.

Cabe decir que el cuarto elemento columna queda colocado al caer sin necesitar ayuda de ninguna de la palas de construcción.

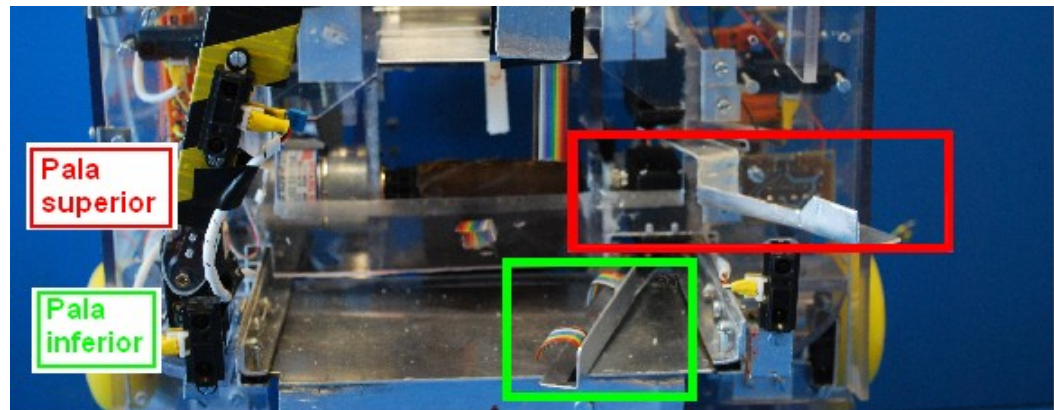


Ilustración 6.3.1: Detalle palas de montaje.

2. La barrera de seguridad:

En un principio esta barrera se creó con el único fin de evitar que las columnas se salieran de la bandeja durante la construcción, como en el transporte del templo al área de construcción. Esta barrera está construida con policarbonato estruado de 5 mm de grosor, y con un largo de 160 mm, un ancho de 30 mm en su parte más ancha y de 1,5 mm en su parte más estrecha. Su parte superior quedará a 45 mm de la bandeja cuando la barrera se encuentre en posición horizontal.

La barrera es más estrecha por un extremo que por el otro para que al levantarla y pasar a la posición vertical, ésta deje pasar la columna que está más próxima al eje de giro de la barrera sin tocarla. Es cierto que se podría haber evitado hacer este corte, pero para ello hubiese sido necesario abrir la barrera en vez de a 90° a unos 110°, por lo que el área proyectada por el sistema de montaje y construcción sería mayor y por lo tanto habría más probabilidades de dañar las construcciones ajenas.



Ilustración 6.3.2: Barrera en posición vertical.

Otra de las funciones de esta barrera será la de sustentar los sensores GP2D120, descritos a continuación en 7.1.1.1. *GP2D12 y GP2D120* (pág. 88), encargados de ver si hay una construcción previamente edificada en el lugar donde va a ser colocado el templo.

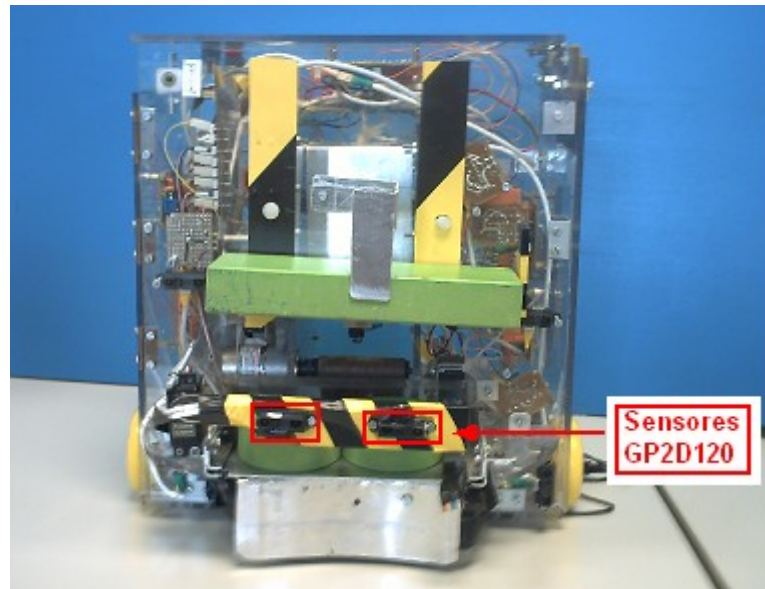


Ilustración 6.3.3: Vista posterior con barrera en posición horizontal, y detalle

También se aprovechó la barrera a la hora de soltar el dintel, ya que esta tomará una posición de 45° respecto a la bandeja, e impedirá que el dintel resbale por encima de las columnas.

Al ver que a veces podía sobresalir alguna de las columnas del área de construcción, y por lo tanto ésta no puntuaría, se optó por empujar el templo una vez depositado en el área de construcción con la barrera otra vez colocada en posición horizontal. Esta acción solo se llevaría a cabo con el primer templo que se construyera, que es también el de mayor puntuación, ya que es el único que se hará con dintel. Y el hueco dejado entre el borde y este templo será donde se intente colocar la segunda construcción.

3. El sistema para dintel pre-cargado:

Este sistema aprovecha el hueco que queda entre la batería, la pared delantera y se ubica sobre la misma plataforma que ella, entre las dos paredes de la estructura central. Aquí se situará una bandeja con forma de “L” con un pequeño saliente en la parte superior.

Para que esta bandeja siguiera el movimiento lineal deseado se le impidió el movimiento vertical mediante unos pequeños listones cuadrados de policarbonato, de 5 mm de ancho y 30 mm de largo,

creando junto a la plataforma central un carril de 4 mm de ancho por el que pasaría la parte inferior de la bandeja. Como estos listones eran muy estrechos para ser atornillados, se pegaron a las paredes centrales con adhesivo termofusible. A pesar de ello, como el sistema de agarre no resultaba todo lo resistente que era necesario, se incorporó en la línea en la que se ejercía más fuerza una varilla de acero que atraviesa toda la estructura central y que lleva un tubo de plástico que gira libremente para evitar la fricción con la varilla.

Al comienzo de los partidos parte de esta bandeja sobresaldría 50 mm por la parte delantera, donde irá apoyado el dintel pre-cargado. Para que éste no se cayera de la bandeja mientras se movía por el campo, se construyó un elemento de sujeción que impedía que el dintel se desplazara hacia delante, pero permitía que éste pudiera caer libremente sobre las columnas cuando se retirara la bandeja. Este elemento de sujeción es del mismo material que la bandeja, es decir de aluminio.

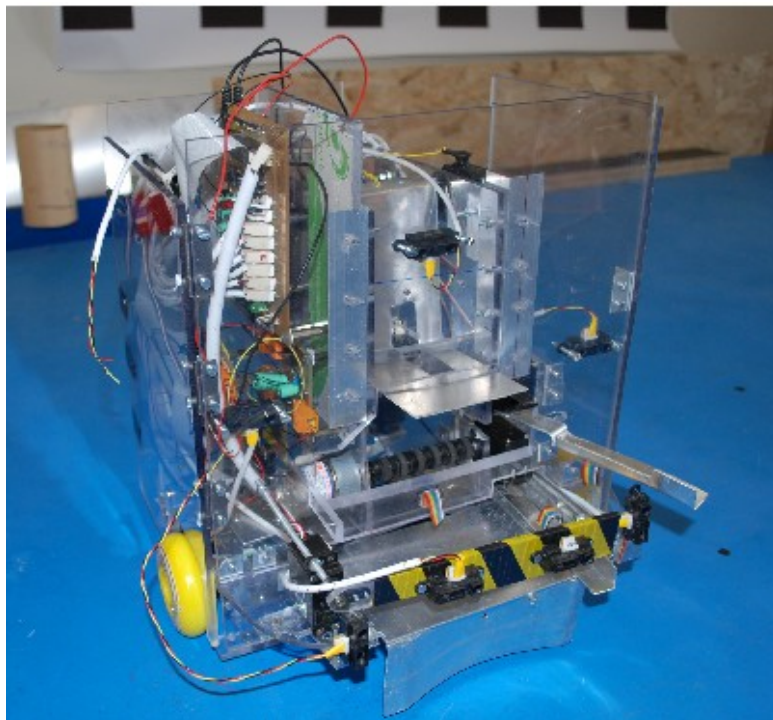


Ilustración 6.3.4: Posición inicial de la bandeja para dintel.

El movimiento de esta bandeja se controla mediante un servomotor FUTABA 3003-S, antes descritos en 4.3.2. *Servomotores* (pág. 54), cuyo movimiento se transforma a lineal mediante un cordón que va enganchado al servomotor y al saliente superior de esta bandeja, y que pasa por una polea intermedia que está alineada con el punto de sujeción de la bandeja.

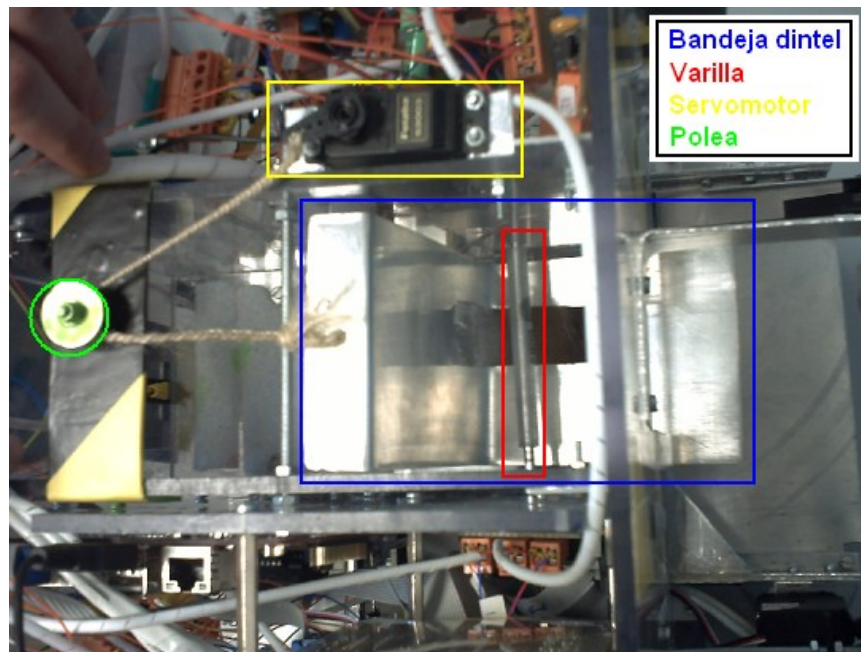


Ilustración 6.3.5: Partes del sistema bandeja de dintel.

En esta bandeja hay un orificio, que en un principio se hizo para poder poner un sensor de fin de carrera que contara los elementos columna, pero como el número de fallos era muy elevado y esta información muy importante para la construcción, este sensor se sustituyó por un GP2D120, antes descritos en 7.1.1.1. *GP2D12 y GP2D120* (pág. 88), que se emplazó en otro punto del robot.

Para que el dintel no cayera durante su transporte, se creó una estructura de aluminio para evitar su desplazamiento frontal, y dos pequeños laterales de policarbonato que impedirían el movimiento en esta dirección. La combinación de ambas estructuras haría que el dintel cayera siempre con su cara de mayor superficie sobre las columnas.

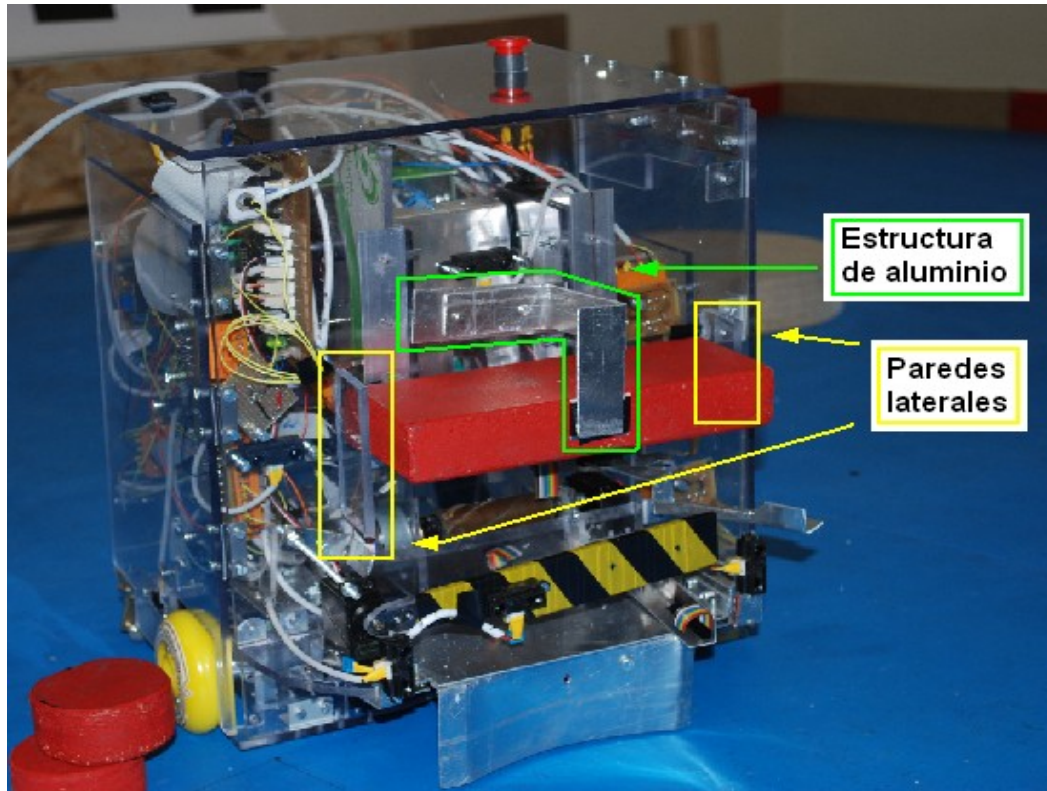


Ilustración 6.3.6: Sistema retenedor de dintel.

4. La bandeja de construcción:

Sobre esta plataforma caerán los elementos columna que serán colocados por las palas. La superficie destinada a estas actividades es de 180 mm de largo y 75 mm de ancho, aunque la bandeja tiene un ancho total de 90 mm.

La bandeja tendría un saliente perpendicular a la superficie de forma redondeada y cóncava, con un radio de curvatura igual al de área de construcción central, **3** (Véase la *Ilustración 3.1.3: Áreas de construcción*, página 32). Este saliente tiene una altura de 55 mm y se encuentra al borde de la bandeja. Ambas piezas son de aluminio de 2 mm de grosor y están unidas con adhesivo termofusible.

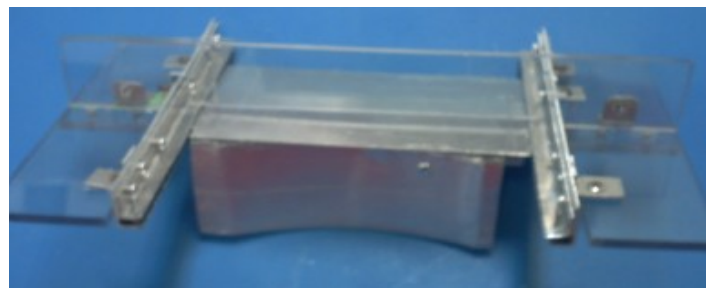


Ilustración 6.3.7: Bandeja de construcción y su estructura.

Este conjunto se deslizaría por unos raíles hechos con dos escuadras de aluminio superpuestas con una separación de 2,5 mm y unidos mediante remaches. Los raíles irían sujetos a una pequeña estructura de policarbonato extruido que también haría de soporte al servomotor que mueve la barrera. Para impedir que la bandeja se saliera por la parte delantera hay dos tornillos que hacen de tope.

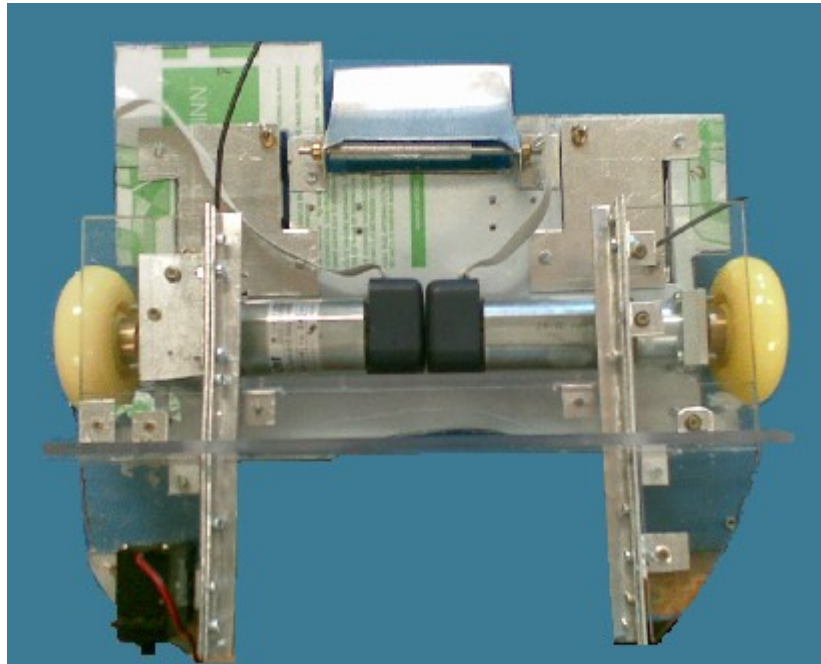


Ilustración 6.3.8: Detalle de los raíles.

Este sistema se diseñó así para que una vez que las dos columnas estén formadas, el robot se choque contra una de las áreas de construcción elevadas sobre el terreno, introduciéndose así la bandeja hacia el interior del robot y dejando caer ambas columnas.

Para poder volver a construir es necesario que la bandeja vuelva a su posición inicial, para lo cual se eligió un sistema mecánico que no necesitara control electrónico para evitar posibles fallos de control. Para ello se usó un fleje de 20 mm de ancho y 330 mm de largo con tres tramos de 110 mm que hace de resorte, recuperando automáticamente la posición de la bandeja según el robot se va alejando del área de construcción.

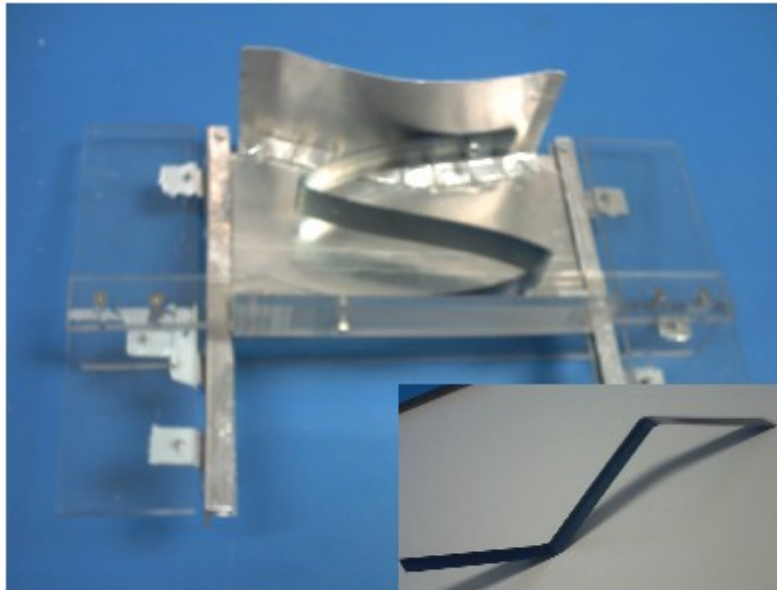
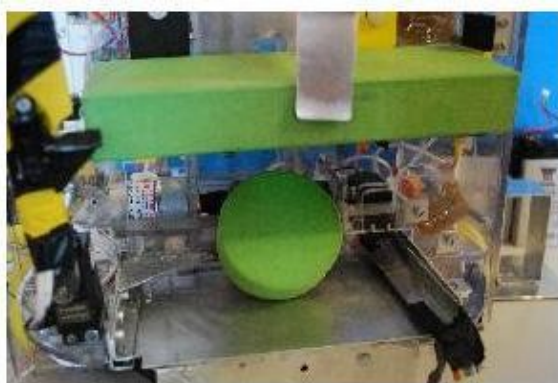


Ilustración 6.3.9: Vista inferior de la bandeja y detalle de fleje.

Se contempló la posibilidad de que alguno de los elementos libres pudiera meterse entre la estructura y el saliente de la bandeja, impidiendo, de tal manera, que la bandeja se introdujese en el robot, y por tanto la construcción no se llevara a término. Para evitarlo se incorporaron dos tiras de plástico, una en cada lateral del saliente de la bandeja hasta la estructura.

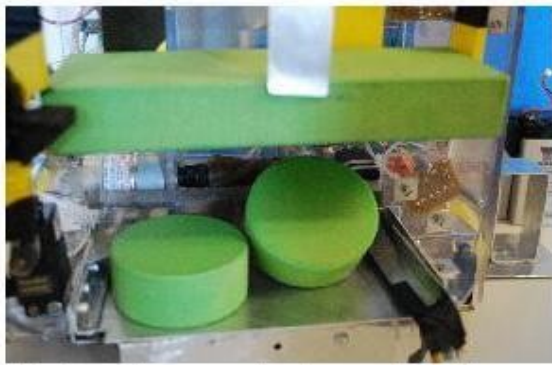
Para comprender mejor algunos de los sistemas de construcción, a continuación se describirá el montaje de un templo. La barrera se mantendrá en posición horizontal para poder ver con detalle la colocación de los elementos:



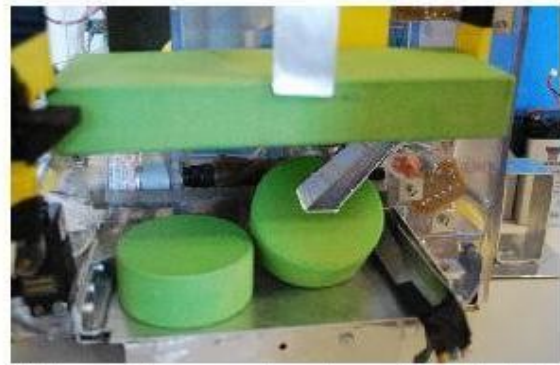
1º- Cae el primer elemento columna.



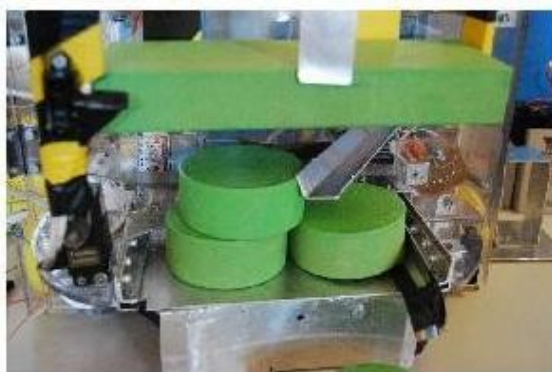
2º- La pala inferior arrastra la columna al lado derecho de la bandeja y vuelve a su posición inicial.



3°- Cae el segundo elemento columna



4°- La pala superior hace la mitad de su recorrido y vuelve a la posición inicial.



5°- Cae el tercer elemento, la pala superior lo empuja al lado derecho y vuelve a su posición inicial.



6°- Cae el cuarto elemento y queda colocado sin más ayuda.



7°- Tras chocar contra el área de construcción, se levanta la barrera a 45° y se deja caer el dintel.



8°- La barrera pasa a posición vertical y el robot se separa lentamente del área de construcción.

Ilustración 6.3.10: Secuencia de montaje y construcción.

Más adelante se podrá ver con mayor detalle cómo se desarrollan las actividades citadas en los párrafos anteriores además de sus diagramas de flujo.



Capítulo 7

7. SENSORIZACIÓN Y CONTROL

Una condición imprescindible para presentarse al concurso Eurobot es que los microrobots sean autónomos. De ahí la gran importancia que adquiere este capítulo. Para llevar a cabo esta automatización se dotó al robot con diversos tipos de sensores además de un sistema de control.

El sistema sensorial será el encargado de recopilar información sobre la posición, velocidad y situación general del robot en el campo, así como de detectar posibles situaciones en las que se requiera una respuesta determinada. Toda esta información se enviará al sistema de control el cual según esta información generará una respuesta en consecuencia.

A lo largo de este capítulo se describirán los distintos tipos de sensores usados, así como la función que estos cumplen. También se explicará que cometidos tienen las placas de control ya descritas en el apartado 6.2. *Placas de control* (página 64), y por último se describirán las estrategias junto a sus lazos de control.

7.1. LOS SENSORES

Tras los resultados obtenidos en los concursos de Eurobot de años anteriores, se decidió usar sensores infrarrojos de posición debido a su sencillo acondicionamiento y su buen comportamiento. También se usaron sensores de fin de carrera ya que son muy sencillos de utilizar, no necesitan acondicionamiento y resisten grandes golpes. Estos sensores nos darán información tanto del terreno de juego como del funcionamiento interno del robot.

Para posicionar el robot en el campo se usaron principalmente unos encoders acoplados a los motores y unos ratones ópticos. Si bien es cierto que al no conseguir la precisión deseada al combinar ambos sistemas, también se usaron como apoyo algunos de los sensores de infrarrojos.

Aunque no se utilizasen se hicieron pruebas con sensores de ultrasonidos, pero fueron descartados no por un mal funcionamiento, sino porque en ambientes muy ruidosos pueden dar medidas falseadas. Y aunque la clasificación española para el Eurobot es muy silenciosa, la competición internacional es multitudinaria y bulliciosa.

7.1.1. Sensores de infrarrojos

Un sensor infrarrojo es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión.

Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación, que resulta invisible para nuestros ojos pero no para estos aparatos electrónicos, ya que se encuentran en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible [19].

Los sensores de infrarrojos se basan en el principio de triangulación para realizar las medidas. Su funcionamiento se basa en un led que emite un pulso de luz infrarroja. En el caso de encontrar un obstáculo, el haz de luz infrarroja emitido se reflejará, creando de esta manera un triángulo formado por el emisor, el punto de reflexión y el detector de posición lineal (PSD, Position Sensing Device). Este detector es como una lente situada sobre un array de células sensibles a la luz infrarroja. Dependiendo del ángulo de incidencia del haz rebotado en la lente, se activa una u otra célula del array lo que permite estimar la distancia a la que se encuentra el objeto, de forma que cuanto menor sea el ángulo mayor será la distancia entre ellos [20].

Una ventaja de este tipo de sensores es que el color del objeto a medir no afecta a la medida de distancia, ya que esta no esta basada en la cantidad de luz que llega al detector, sino únicamente con el ángulo que llega. [21]

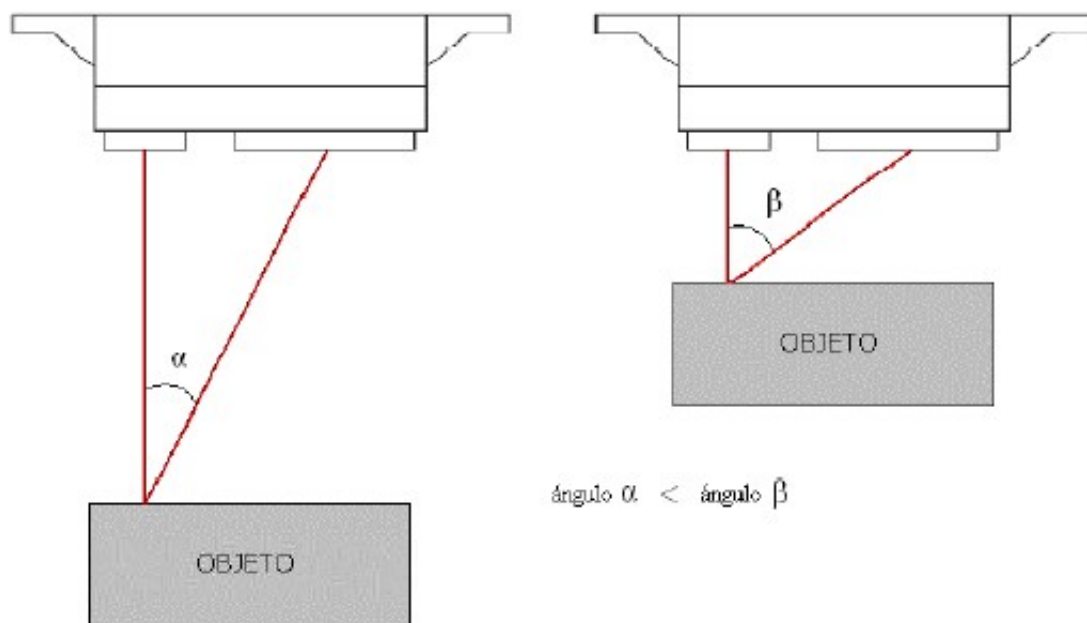


Ilustración 7.1.1.1: Funcionamiento de los sensores de infrarrojos.

7.1.1.1. GP2D12 y GP2D120

Los sensores de infrarrojos escogidos son el GP2D12 y el GP2D120 de la marca SHARP. Ambos dan una salida analógica entre 0 y 3 voltios, dependiendo de la distancia a la que se encuentre el objeto a detectar. Sus salidas analógicas no son lineales, sino que siguen unas curvas como las que se puede observar en las *Ilustración 7.1.1.1: Gráfico salida/distancia para el GP2D12* e *Ilustración 7.1.1.2: Gráfico salida/distancia para el GP2D120*.

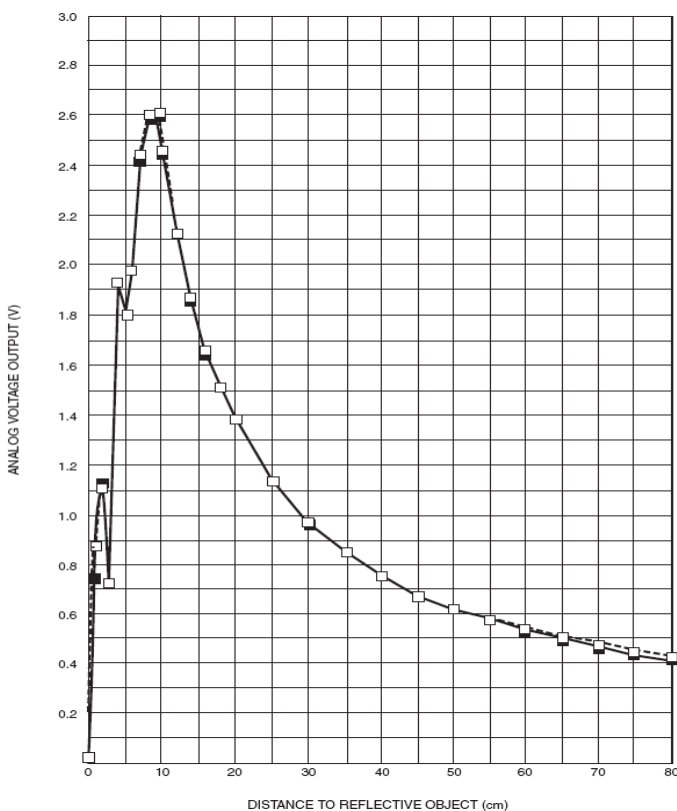


Ilustración 7.1.1.1:
Gráfico salida/distancia para el GP2D12.

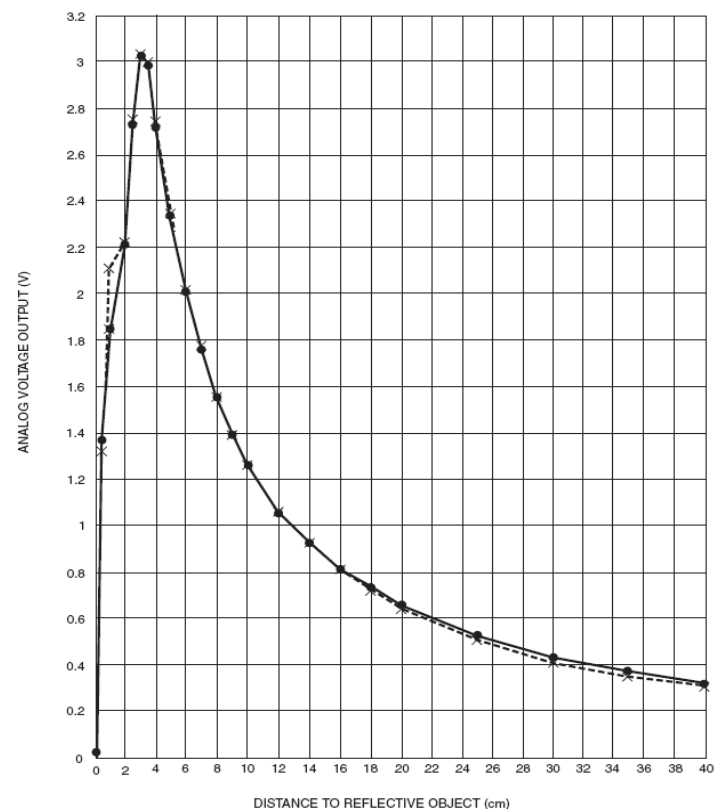


Ilustración 7.1.1.2:
Gráfico salida/distancia para el GP2D120.

Como las distancias que se quieren conocer tienen valores fijos, se convertirá la señal analógica proporcionada por el sensor (V_o) a una señal digital. Para ello se conectará a la salida del sensor un amplificador operacional LM324 en configuración de comparador [1]. Este amplificador se encargará de comparar la señal de tensión emitida por el sensor con una tensión fijada mediante un potenciómetro, colocado a modo de divisor de tensión en la pata negativa del amplificador, de forma que si la tensión suministrada por el sensor es mayor a la fijada a través del potenciómetro, la salida del amplificador se pondrá a nivel alto, lo que significará que se ha detectado un objeto. De esta manera, al modificar el valor del potenciómetro, se podrá variar el rango de detección según la distancia que se necesite conocer desde cada sensor, haciéndole llegar al controlador la información ya depurada.

Por último, para estabilizar la tensión de alimentación del dispositivo, se conectará un condensador de 10 μF o más entre VCC y GND lo más cerca posible del GP2D12. También podría utilizarse un condensador entre Vo y Vcc o GND (filtro de paso bajo) pero se disminuiría considerablemente la dinámica del sensor [3].

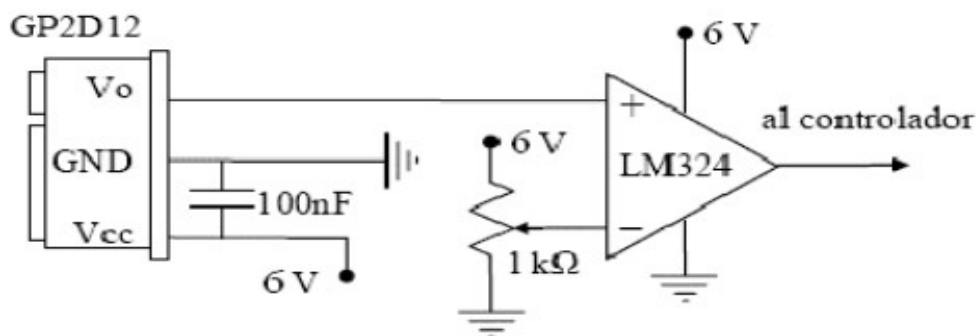


Ilustración 7.1.1.1.3: Esquema de acondicionamiento para GP2D12 y GP2D120.

La tensión de alimentación es aproximadamente de 5 V, y se recomienda el uso de una tensión regulada para no introducir ruido en las medidas, debido a que la tensión puede caer por debajo de su umbral de funcionamiento. Por ello se diseñó para este fin un regulador de 5 V, ya descrito en el apartado 5.1.2. *Etapas de potencia* (página 60).

El motivo para usar dos sensores diferentes de infrarrojos está en sus rangos de medidas. Mientras que el GP2D12 mide con certeza en un rango de 10 y 80 cm, el GP2D120 lo hace entre 4 y 30 cm, diferenciándose únicamente del anterior en una lente especial. Si se quiere medir un objeto que está a menos de la distancia mínima del rango del sensor, la tensión de salida disminuye más rápidamente que cuando supera este valor. Dada esta característica, es bastante habitual colocar el sensor de forma que no puedan darse medidas menores que las de su rango.



Ilustración 7.1.1.1.4: Sensor de infrarrojos GP2D12.



Las especificaciones del los sensores GP2D12 son las siguientes:

Rango	10 – 80 cm
Periodo de lectura	40ms
Máximo ángulo de reflexión	> 40°
Tensión de alimentación	4,5 – 5,5 V
Ruido de salida	200ms
Consumo medio	35mA
Consumo de pico	200mA

Las especificaciones del los sensores GP2D120 son las siguientes:

Rango	4 – 30 cm
Periodo de lectura	32ms
Tensión de alimentación	4,5 – 5,5 V
Consumo medio	33mA
Consumo de pico	50mA

En lo referente a las interferencias que puedan aparecer en las medidas realizadas por los sensores, es recomendable añadir filtros de paso bajo a la salida, debido a que se trata de dispositivos muy sensibles al ruido, por lo que es necesario restringir su frecuencia de trabajo. Cuanto más cerca de los sensores se encuentren estos filtros, mayor será su efecto, lo que hará que el ruido disminuya notablemente [22].

De este tipo de sensores se colocaron once GP2D12 y cuatro GP2D120, repartidos de la siguiente manera:

- GP2D12 :
 1. Bajo la pala estrecha de recogida se colocó un sensor a 2 cm del suelo, es decir a una altura menor que la de los elementos columna, y dará un uno lógico cuando tenga algo delante a menos de 30 cm.
 2. Sobre esta misma pala se situó otro sensor calibrado a la misma distancia que el anterior pero a una altura de 4.5 cm, que nos indica si lo que ve el sensor anterior es ficha o cualquier otro elemento del campo. De esta manera cuando ambos transmiten una señal a nivel alto, el robot no ve columna; mientras que si el sensor (1) tiene la salida a nivel alto y el sensor (2) a nivel bajo el sistema de control sabrá que a 30 cm hay un elemento columna.

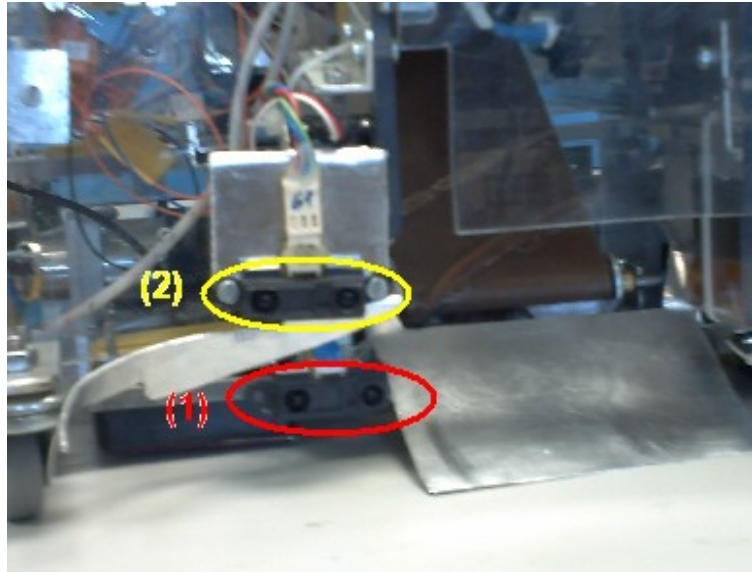


Ilustración 7.1.1.1.5: GP2D12 localizadores de elementos columna.

3. Situado en el lateral derecho a 6 cm del terreno y al lado de la rueda. El sensor detecta a menos de 15 cm, distancia del borde al lateral del robot cuando éste se coloca para recoger fichas del dispensador. Sirve para mantener el robot paralelo a la pared de camino al dispensador y que cuando llegue a él lo tenga justo delante.

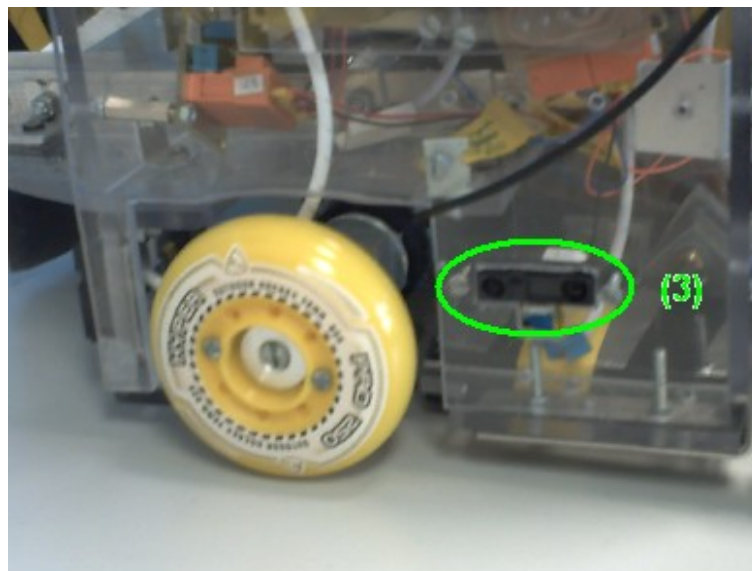


Ilustración 7.1.1.1.6: GP2D12 para ir paralelo al lateral.

4. Este sensor está en una posición simétrica al anterior, y todas sus características son iguales. La diferencia se hará a la hora de usarlo, que será cuando su lado sea el más cercano al borde cuando busque el dispensador, o lo que es lo mismo: cuando el robot haya salido de la zona verde.

5. Localizado en la parte delantera izquierda a 6 cm de altura, la distancia que mide este sensor es de de 45 cm, y será el encargado de dar la señal para que el robot comience el giro cuando busca el dispensador.

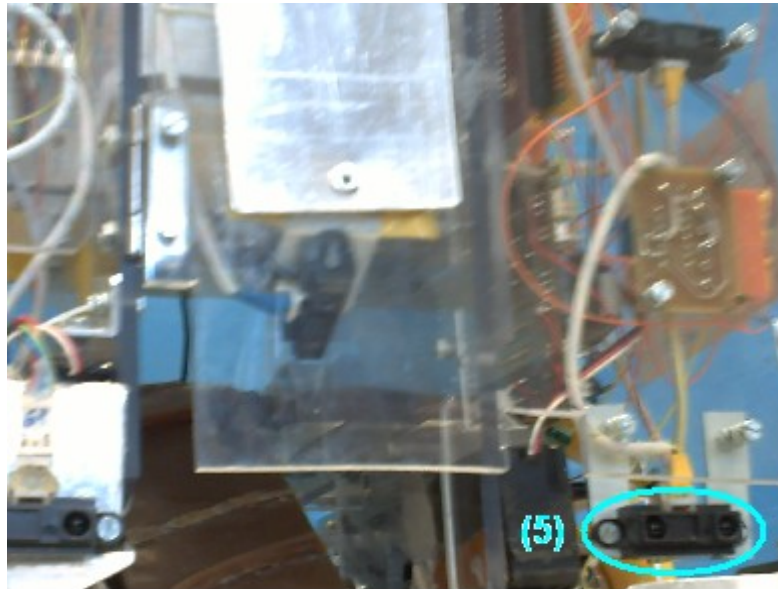


Ilustración 7.1.1.1.7: GP2D12 detector de giro .

6. En la parte trasera derecha, prácticamente en el borde, hay un sensor a 5 cm del suelo que da un uno lógico cuando hay un objeto a menos de 40 cm.
7. Mientras que en la parte izquierda y simétricamente al sensor (6), se colocó un sensor de iguales características.

Esta pareja de sensores son los encargados de buscar el área de construcción central, como se verá más adelante en el punto 7.2. *Las unidades de control* (pag. 103). Una vez que el robot este con la cara trasera enfrentada a este área de construcción, si se recibe una señal a nivel alto del sensor busca-centro derecho (6) se girará hacia este lado hasta recibir una señal a nivel bajo, y entonces volverá a girar en sentido opuesto hasta obtener un uno lógico del sensor busca-centro izquierdo (7) y luego hasta obtener un cero. Aquí el robot girará en sentido opuesto al anterior pero más lentamente, hasta que ambos sensores envíen señales a nivel alto, entonces el robot parará al haber localizado el área central.

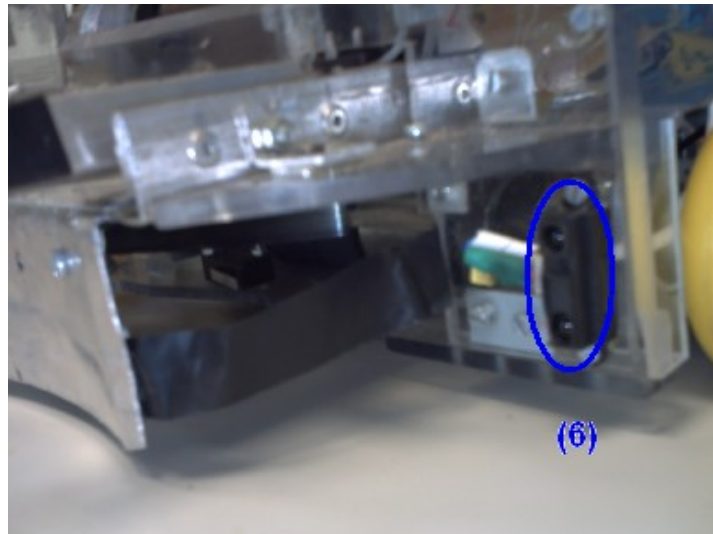


Ilustración 7.1.1.1.8: GP2D12 busca-centro derecho.

8. Como ya se ha dicho con anterioridad, una de las normas básicas a cumplir, si se quiere competir, es que el robot debe detectar a sus oponentes.

Este sensor mandará un uno lógico al sistema de control cuando haya algún objeto a menos de 15 cm. Estará situado en el lateral izquierdo delantero y a una altura de 17 cm.

9. Situado en el lateral derecho delantero y a la misma altura, el sensor dará una salida a nivel alto cuando detecte un cuerpo a menos de 20 cm. La diferencia de distancias de detección se debe a que este sensor esta 5 cm por detrás del plano donde se sitúa el sensor (8).

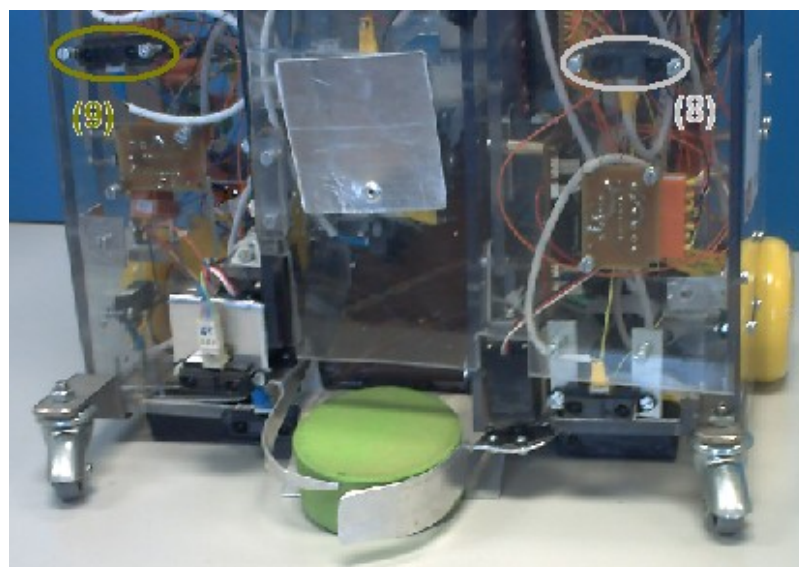


Ilustración 7.1.1.1.9: GP2D12 localizadores de oponente delanteros.

10. En el lado derecho de la cara posterior y a la misma altura que los dos sensores anteriores (8) y (9), hay otro sensor de localización de oponente, que sirve para localizar a un oponente a 25 cm o menos de él.
11. En el lado izquierdo posterior y a la misma altura y distancia al borde del robot, hay otro sensor para localizar al robot contrario también a 25 cm. Estos dos últimos GP2D12, localizan a esta distancia, que es la suma de los 15 cm, para frenar sin chocar, y los 10 cm que sobresale la bandeja sobre ellos.

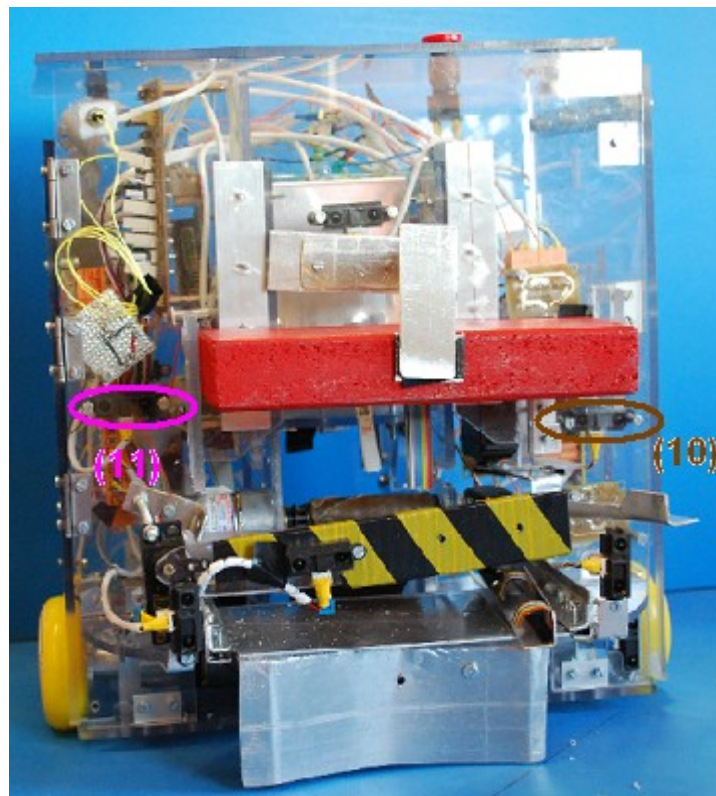


Ilustración 7.1.1.1.10 : GP2D12 localizadores de oponente traseros.

- GP2D120 :

- I. Dentro del robot, sobre la rampa hay un sensor colocado de forma oblicua mirando al exterior, con el fin de saber si hay un elemento columna que recoger justo delante. Si el elemento columna se encuentra a más de un centímetro de la rampa este no será detectado.

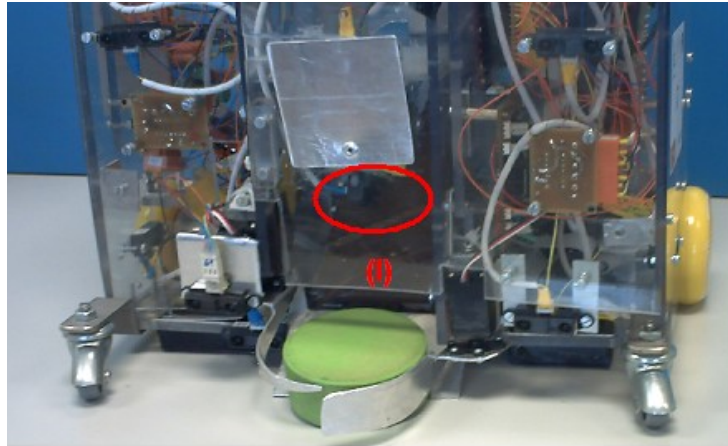


Ilustración 7.1.1.1.11 : GP2D12o verificador de presencia de ficha.

- II. También dentro del robot colocado en la pared delantera y mirando hacia el interior, se ubicó un sensor que detectaría si las columnas llegan a lo alto de la cinta elevadora. Será esta señal la que se utilizará para aumentar el contador de fichas.
- III. En la barrera hacia el lateral derecho, se situó un sensor que detecta a 10 cm de él.
- IV. En el lateral izquierdo de la barrera se colocó otro sensor que detecta a la misma distancia. Entre uno y otro hay 6 cm de separación.

Esta pareja de sensores (III) y (IV), servirán para saber si donde se va a construir hay ya un templo, lo cual es bastante importante, ya que si se destruye la construcción del oponente éste recibirá una bonificación.

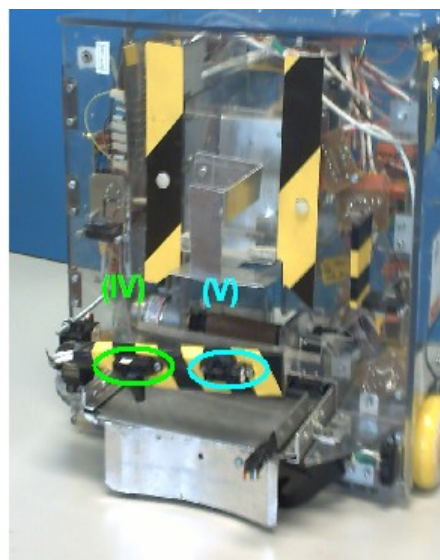


Ilustración 7.1.1.1.12: GP2D12 detectores de templos.

7.1.2. Sensores de fin de carrera

El sensor de fin de carrera o de contacto también es conocido como “interruptor de límite” o limit swicht. Estos sensores son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos que se sitúan al final de un recorrido de un elemento móvil. Su interior puede contener interruptores normalmente abiertos (NA), normalmente cerrados (NC) o conmutadores, dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados.

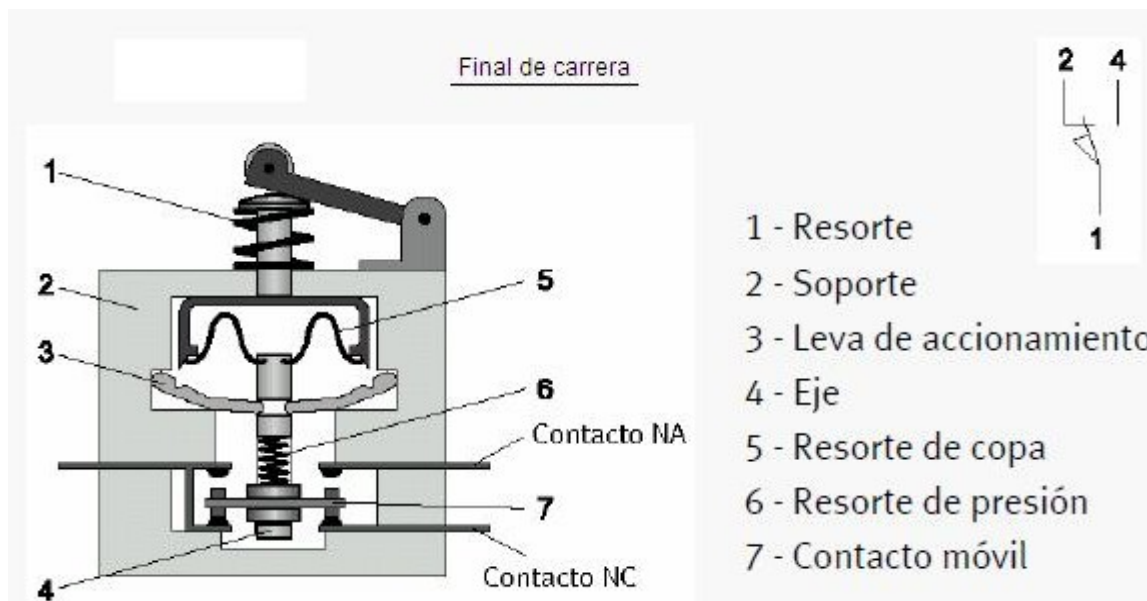


Ilustración 7.1.2.1: Esquema interno de sensor de fin de carrera.

Comúnmente este tipo de sensores están compuestos por dos partes, un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso, empleándose en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida o vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores o robots [23].

Los finales de carrera están fabricados en diferentes materiales tales como metal, plástico o fibra de vidrio.



Ilustración 7.1.2.2: Sensor de fin de carrera.

7.1.2.1. Sensores de fin de carrera en el robot

En nuestro robot los dos sensores de fin de carrera están conectados directamente a la placa de control. El terminal normalmente abierto (NA) va conectado a una salida que se encuentra siempre a 3,3 V y el terminal común irá conectado directamente también a uno de los puertos de entrada de la placa de control. De esta manera, cuando el sensor sea presionado dejará pasar la corriente, transmitiéndole así un uno lógico a la unidad de control.

Uno de estos sensores estará localizado en la parte posterior de la base y dará una señal a nivel alto cuando la bandeja de construcción esté totalmente dentro del robot, es decir cuando se hayan dejado las columnas sobre el área de construcción.

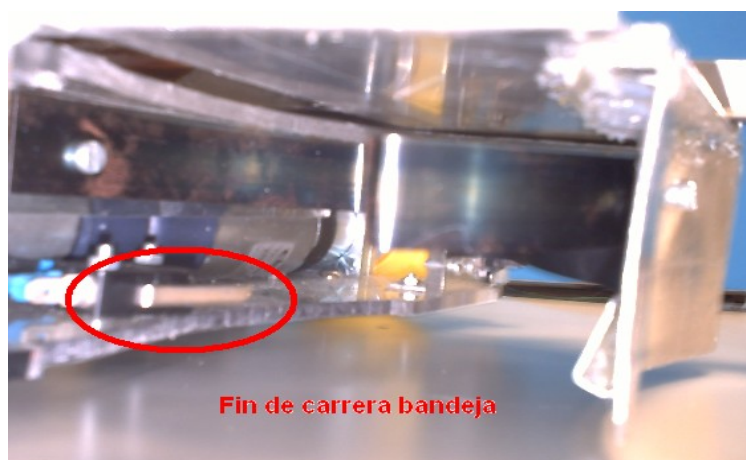


Ilustración 7.1.2.1.1: Detalle de sensor fin de carrera de la bandeja.

El otro está en la parte delantera, centrado en la cara. Este sensor servirá para saber que ya ha llegado el robot al dispensador de elementos columna. Sobre él se situó una placa cuadrada de aluminio, unida únicamente por un punto centrado en su base, para aumentar la superficie contra la que había de chocar el dispensador.

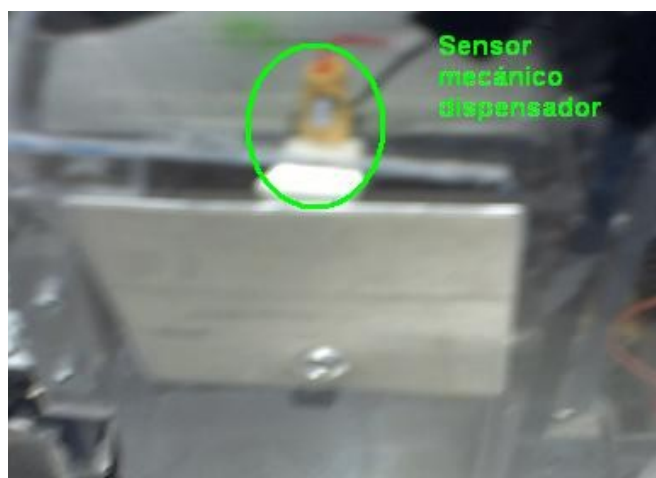


Ilustración 7.1.2.1.2: Detalle de sensor mecánico del dispensador y su placa pulsadora.

7.1.3. Encoders

El encoder es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal si se asocian a cremalleras o a husillos. Las señales eléctricas de rotación pueden ser elaboradas mediante controles numéricos, contadores lógicos, sistemas de control, etc. Las aplicaciones principales de estos transductores están en las maquinas de herramientas, en robots, en los sistemas de motores, en los aparatos de medición y control [1].

Los encoders son dispositivos que están formados por un disco transparente con una serie de marcas opacas y equidistantes entre sí, un sistema de iluminación y un elemento fotoreceptor. El eje cuya posición se quiere medir va acoplado al disco, y a medida que el eje gira, se van generando pulsos en el receptor cada vez que la luz atraviesa las marcas. Llevando la cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje [24].

La resolución dependerá del número de marcas que tenga el disco, es decir del número de impulsos por revolución [25].

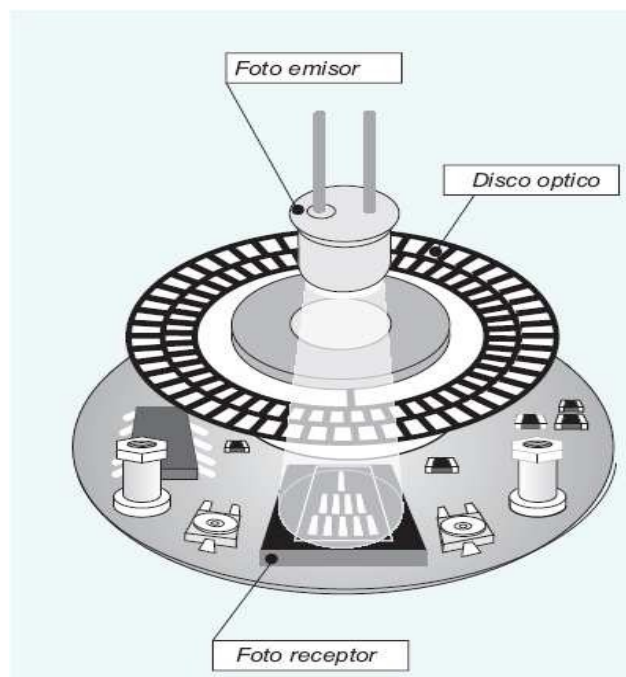


Ilustración 7.1.3.1: Esquema de funcionamiento de un encoder.

7.1.3.1. Encoder EB50

El modelo elegido para el robot es el EB50 de la marca Bernio. Este dispositivo se adquirió junto a los motores de forma. Ambos se compraron ensamblados en fábrica.

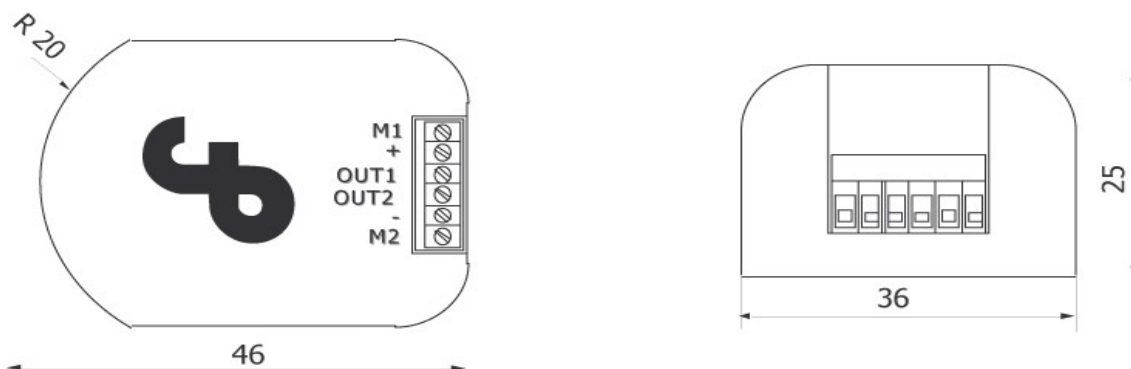


Ilustración 7.1.3.1.1: Esquema externo del encoder EB50 de Bernio.

Estudiando las hojas de características proporcionadas por el fabricante se observa que este modelo puede funcionar tanto en modo unidireccional como en modo bidireccional, proporcionando 50 y 25 pulsos por vuelta respectivamente. Su rango de alimentación estará comprendido entre 6 y 24 V y será necesario situar una resistencia de pull-up entre la alimentación y la salida para obtener un adecuado acondicionamiento de la señal de salida del encoder.

En nuestro caso los encoders se alimentaron a 7 V, y para ello se diseñó un regulador de 7 V, ya descrito en el apartado 5.1.2. *Etapas de potencia* (página 60).

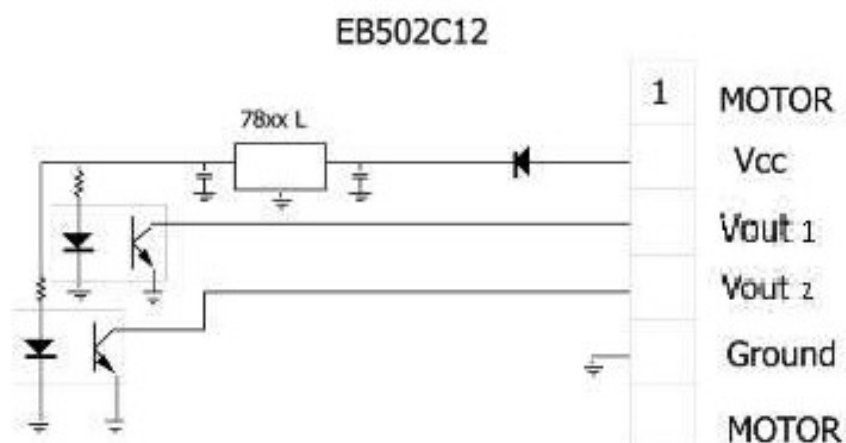


Ilustración 7.1.3.1.2: Esquema electrico del encoder EB50 de Bernio.

Se decidió utilizar el modo bidireccional, por lo que cada canal de salida nos proporcionaría 25 pulsos por vuelta. Habrá que tener en cuenta que, al tener incorporada una reductora al motor, el número de pulsos proporcionados por el encoder en una vuelta aumentará en el mismo orden. Por lo tanto, como la reductora del motor es de 1/16, el número de pulsos por vuelta será de 400.

De acuerdo con estas cifras se puede calcular la distancia total recorrida por cada pulso, teniendo en cuenta que las ruedas tienen un diámetro de 72 mm, mediante la siguiente expresión:

$$L = \pi \cdot D = \pi \cdot 72 \text{ mm} = 226.19 \text{ mm recorridos en una vuelta}$$
$$L / \text{ppv} = 226.19 \text{ mm} / 400 = 0.56 \text{ mm recorridos en un pulso}$$

Leyenda:

- L: distancia recorrida por vuelta
- D: diámetro
- ppv: pulsos por vuelta

Los resultados obtenidos nos indican la gran precisión que se puede obtener al controlar robots con este tipo de sensores [3].



Ilustración 7.1.3.1.3: Encoder EB50 de Bernio acoplado al motor.

Un problema que se puede presentar es la pérdida de información debida al deslizamiento de las ruedas sobre el terreno de juego y el consiguiente error en la distancia registrada y la distancia real. Para compensar estos errores se han añadido varios sensores de infrarrojos mencionados en el párrafo anterior. Estos sensores dan información adicional, que junto con la proporcionada por los encoders, nos permiten conocer la posición del robot sobre el terreno de juego con un margen de error menor. Como apoyo para la localización se incorporaron dos ratones ópticos que se describirán en el párrafo que sigue a continuación.

7.1.4. Ratones ópticos

Desarrollados por Tecnologías Agilent e introducidos al mundo a finales de 1999, el ratón óptico usa una pequeña cámara para tomar 1500 imágenes cada segundo. Capaz de trabajar en casi cualquier superficie, el ratón óptico funciona mediante el análisis de la superficie sobre la que se mueve. Por lo tanto, un ratón óptico está compuesto por un LED, un sistema de adquisición de imágenes (IAS) y un procesador de señal digital (DSP). El LED es el responsable de emitir un haz de luz sobre la superficie, que le permite al IAS obtener una imagen de dicha superficie. El DSP, operando a 18 MIPS (millones de instrucciones por segundo), mediante el análisis de las características microscópicas de la superficie, determina el movimiento horizontal y vertical, y manda las coordenadas correspondientes a la unidad de control [26].

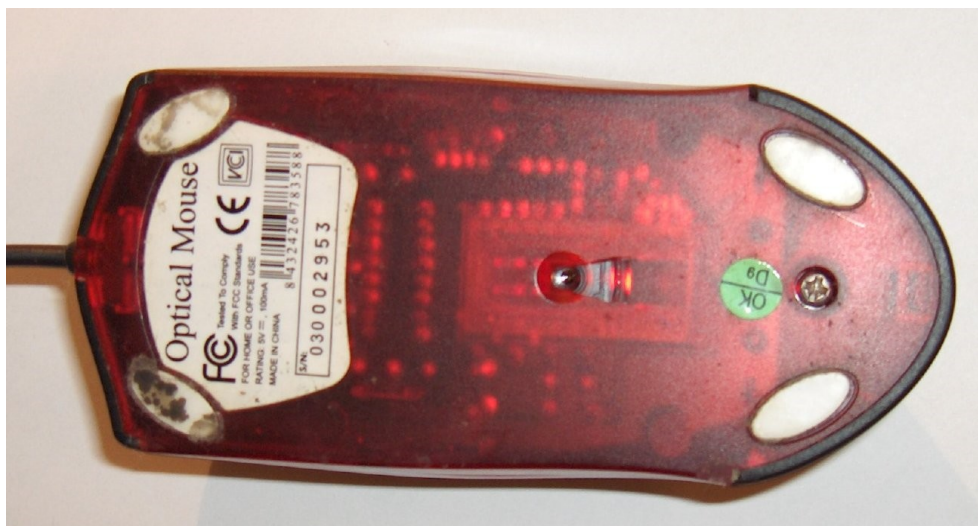


Ilustración 7.1.4.1: Vista inferior de un ratón óptico.

Los ratones ópticos funcionan sobre una superficie ligeramente despareja o incluso de color. Las principales ventajas de este tipo de ratón, en comparación con el ratón mecánico, es que poseen una gran precisión y una menor acumulación de suciedad [27].

7.1.4.1. Ratones MI-2520p

Los ratones que se han utilizado son dos ratones ópticos Trust MI-2520p y puesto que sólo se necesitaba el circuito, se desecharon la carcasa, los botones y la rueda. De esta forma también se reduce de manera considerable el tamaño de los ratones. Para protegerlos tanto de la luz exterior como para poder manejarlos y anclarlos, se realizó una carcasa rectangular de 80 x 50 x 20 mm de aluminio de 2 mm de grosor, con un agujero para el LED en la base. Como el aluminio podía reflejar el haz de luz del ratón, se forro con cinta aislante negra el interior de la caja.

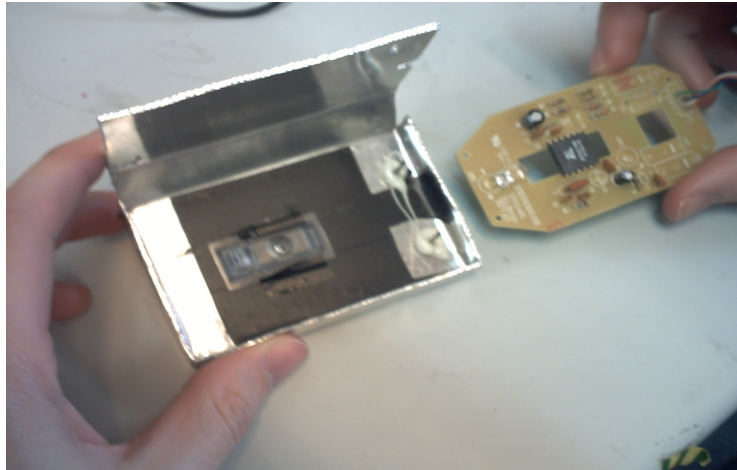


Ilustración 7.1.4.1.1: Interior de la caja contenedora de los ratones.

Para evitar el desplazamiento dentro de la caja, se incorporaron cuatro clavos que harían de guía y que pasan por unos orificios que se encuentran en el circuito impreso del ratón. Después se les introdujo un muelle a cada uno y cerrándolos con un prisionero. Las cajas irían sueltas en los orificios laterales de la base, lo que impediría desplazamientos laterales, pero los permitiría en horizontal para no quedar enganchados en las posibles irregularidades del terreno. La base de las cajas iría forrada con fieltro autoadhesivo para minimizar las fuerzas de rozamiento con el terreno de juego.



Ilustración 7.1.4.1.2: Vista inferior de la caja contenedora de los ratones.

Los ratones disponen de una salida USB, y es una de las características que se buscaba ya que la placa base usada dispone de dos entrada de este tipo.

Los ratones se ubicaron lo más próximos posible a los motores y de forma simétrica.



El motivo por el que se usan dos ratones es que éstos sólo detectan movimientos en horizontal y vertical, por lo que los giros no son registrados por ellos, así que es necesario poner dos ratones para poder registrar movimientos relativos de un ratón frente y así mediante un algoritmo poder saber el giro realizado. De esta forma, por programación se divide el tablero en cuadrantes y el robot sabe donde esta situado en cada momento.

Se suponía que los ratones iban a proporcionar unos valores muy exactos de la posición del robot, debido a su alta precisión, aunque éstos no fueron los resultados obtenidos. Pero lo que sí se consiguió fue dividir el campo en distintos cuadrantes, con unas dimensiones de 50 x 50 cm, y saber en cual de ellos se encontraba el robot. Se aprovechó esta información a la hora de ir a buscar los dispensadores.

7.2. LAS UNIDADES DE CONTROL

Para dotar al microrobot de autonomía se eligió una placa base modelo TS – 7350 que es la unidad principal y la encargada tanto de recoger la información de los sensores, como de procesarla. También es la que dará las ordenes según la estrategia programada. Se escogió una placa base para poder hacer una programación mucho más amplia y compleja. Las características técnicas de esta unidad ya se han explicado en 5.2. *Placas de control* (página 64).

La unidad principal de control está programada mediante hilos de ejecución, y cada uno de estos hilos tiene programado una tarea, pudiendo por ejemplo montar la construcción mientras se recogen los elementos del tablero. Los diagramas de flujo asociados a los hilos principales se pueden ver en el siguiente apartado 7.3. *Estrategia* (página 104).

No fue necesario programar todos los hilos para el color rojo y el verde. Sólomente se programaron las subrutinas para ser el equipo verde, y se usó una función de simetría para aprovecharlas cuando se fuese el equipo rojo.

A esta unidad llegan las señales de todos los sensores a través de sus puertos de entradas digitales. Como no es necesario conocer los datos de todos los sensores para todas las acciones, el programa sólo tendrá en cuenta los datos que necesite en ese momento. Una vez procesada la información, la unidad principal tomará una decisión que transmitirá mediante una comunicación puerto-serie, a la unidad esclava regida por un micro-procesador 5082. Las características técnicas de esta unidad ya se han explicado en 5.2. *Placas de control* (página 64).

Se decidió usar esta unidad esclava ya que era con ella con la que se hicieron las pruebas de control de los motores y servo-motores, consiguiendo el control deseado. El cometido de la unidad esclava es traducir las órdenes que recibe de la unidad principal a una PWM que es la señal que entienden tanto los servomotores para posicionarse como los drivers de los motores.



La unidad esclava recibe tan solo dos valores numéricos por acción. El primer valor corresponde al puerto de salida por el que transmitirá la señal y el segundo es un valor proporcional al ciclo de trabajo de la PWM a generar. Para más información sobre el control mediante PWM de los actuadores, ver 4.3.2. *Servomotores* (página 54).

En la siguiente tabla se pueden ver los pines usados y a que elementos controlan:

PUERTO	RECEPTOR
Po.0	Servo-motor 0. Pala estrecha de recogida.
Po.1	Servo-motor 1. Pala ancha de recogida.
Po.2	Servo-motor 2. Pala inferior construcción.
Po.3	Servo-motor 3. Pala superior construcción.
Po.4	Servo-motor 4. Barrera de seguridad.
Po.5	Servo-motor 5. Bandeja dintel.
Po.6	Motor cinta transportadora.
P2.0	Velocidad motor derecho.
P2.1	Velocidad motor izquierdo.
P2.4	Dirección motor derecho.
P2.5	Dirección motor izquierdo.

7.3. ESTRATEGIA

Antes de diseñar el micro-robot era necesario crear al menos la estrategia principal, teniendo en cuenta los posibles sistemas que se podrían llegar a construir y controlar antes de la fecha de la competición española, cumpliendo por supuesto todas las restricciones que establece el concurso “Eurobot 09”.

La estrategia que se escogió y sobre la que se diseñaron los principales sistemas, consistía en edificar el mayor número de templos en el área de construcción que otorga mayor puntuación.

Primero se arrastrarían, con las palas de recogida abiertas, los elementos columna libres que encontrase en su trayectoria (uno o dos elementos), hasta el área de construcción **1**.

Después el robot giraría, para buscar cuatro elementos columna libres e ir haciendo la construcción de las dos columnas.

Una vez que la cuarta ficha llegase a la parte superior de la cinta, el robot buscaría el área de construcción central (área de construcción **3**). Cuando el centro fuera localizado, se dejarían las columnas y se colocaría el dintel.

Cuando el primer templo sea construido, se buscará el dispensador frontal y se recogerán otros cuatro elementos columna, mientras se construyen las dos columnas.

Finalmente se buscará de nuevo al centro, área de construcción **3**, para volver a edificar.

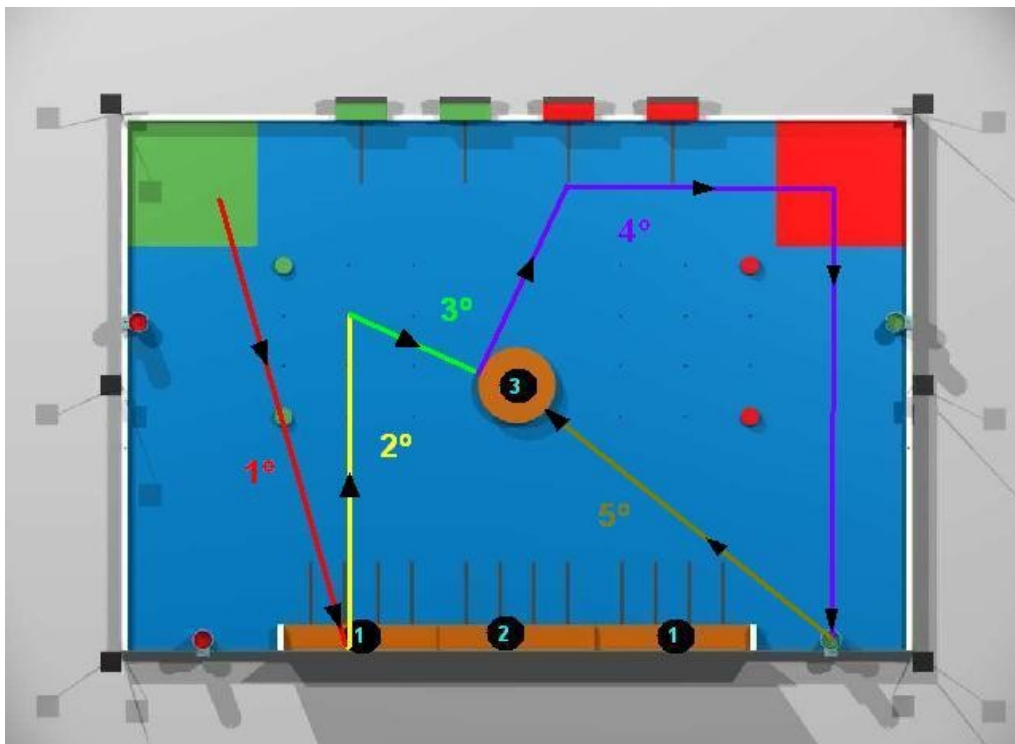


Ilustración 7.3.1: Esquema simplificado de la trayectoria, de la primera estrategia, subrutina el equipo verde.

Una vez testada esta estrategia, se observó que era poco fiable, por lo cual se hicieron unas pequeñas variaciones.

Tras hacer el primer recorrido, el robot cometía un error de posición que en muchos de los casos se traducía en no encontrar el área de construcción central **3**. Como la primera edificación era la que menos puntos sumaba, se decidió eliminar el primer trayecto **1**, e ir directamente a buscar los elementos libres para edificar en el área central **3**.

Otro problema fue que el segundo elemento columna, en ciertas ocasiones, quedaba mal colocado, por lo que el templo quedaba incompleto, dejando como mucho sólo dos de los cuatro elementos columna en zona de puntuación e impidiendo que el dintel se colocara correctamente. En consecuencia, se eliminó la segunda fila de elementos columna, así que se dejaron de recoger los elementos tercero y cuarto. También se eliminó la pala superior, ya que al chocar con el área de construcción, si el segundo elemento estaba en posición vertical, esta columna se colocaba sola.

Como los nuevos templos eran más estables y el tiempo transcurrido una vez depositado el primer templo bastante reducido, tras construirlo se empujaría con la barrera de seguridad asegurando así los puntos del templo con dintel.

Al ser más rápida esta nueva estrategia, se le añadió otra etapa de búsqueda de dispensador y por supuesto de construcción, quedando la nueva estrategia de la siguiente forma:

- 1^o Buscar dos elementos columna libres y construirlos.
- 2^o Localizar el área de construcción **3**, edificar con dintel y empujar templo.
- 3^o Buscar dispensador, recoger dos columnas y construirlas.
- 4^o Localizar el área de construcción **3** y edificar sin dintel.
- 5^o Repetir punto 3^o y 4^o.

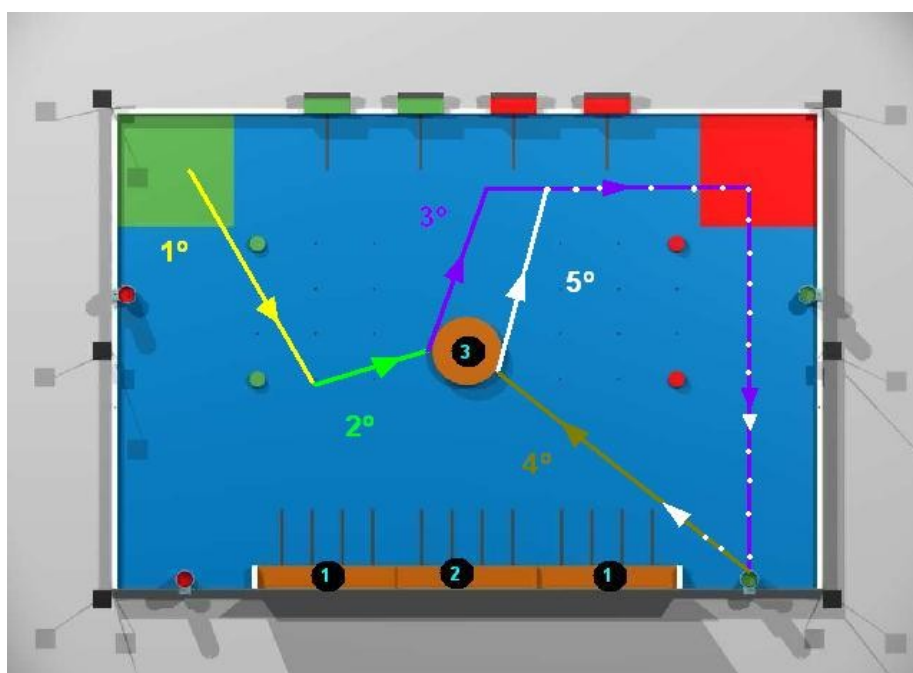


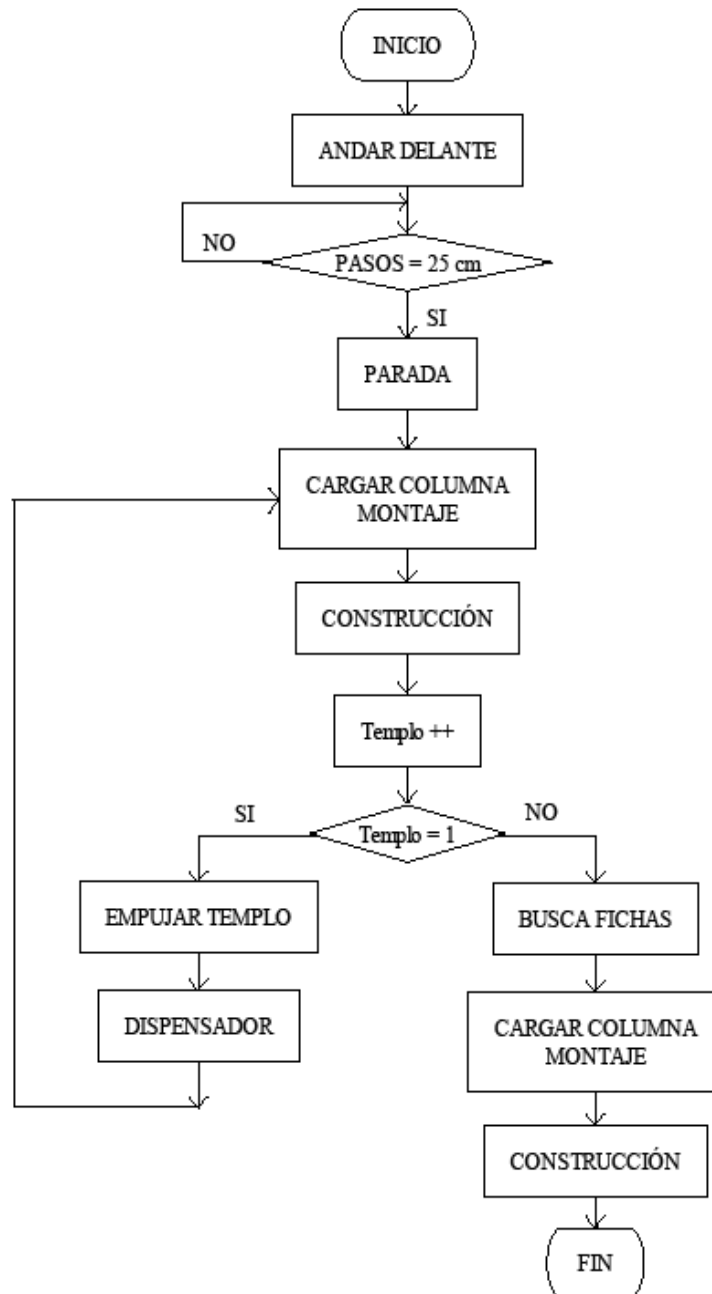
Ilustración 7.3.2: Esquema simplificado de la trayectoria, de la estrategia definitiva, subrutina del equipo verde.

Si durante el partido el robot se cruzase con otro robot, este parará de moverse inmediatamente y si en cinco segundos el oponente prosiguiese en su trayectoria, se activaría la maniobra de evasión.

7.3.1. Diagramas de flujo

A continuación se mostrarán los diagramas de flujo de las acciones más importantes, comenzando por el programa general que se acaba de describir:

DIAGRAMA GENERAL DE JUEGO





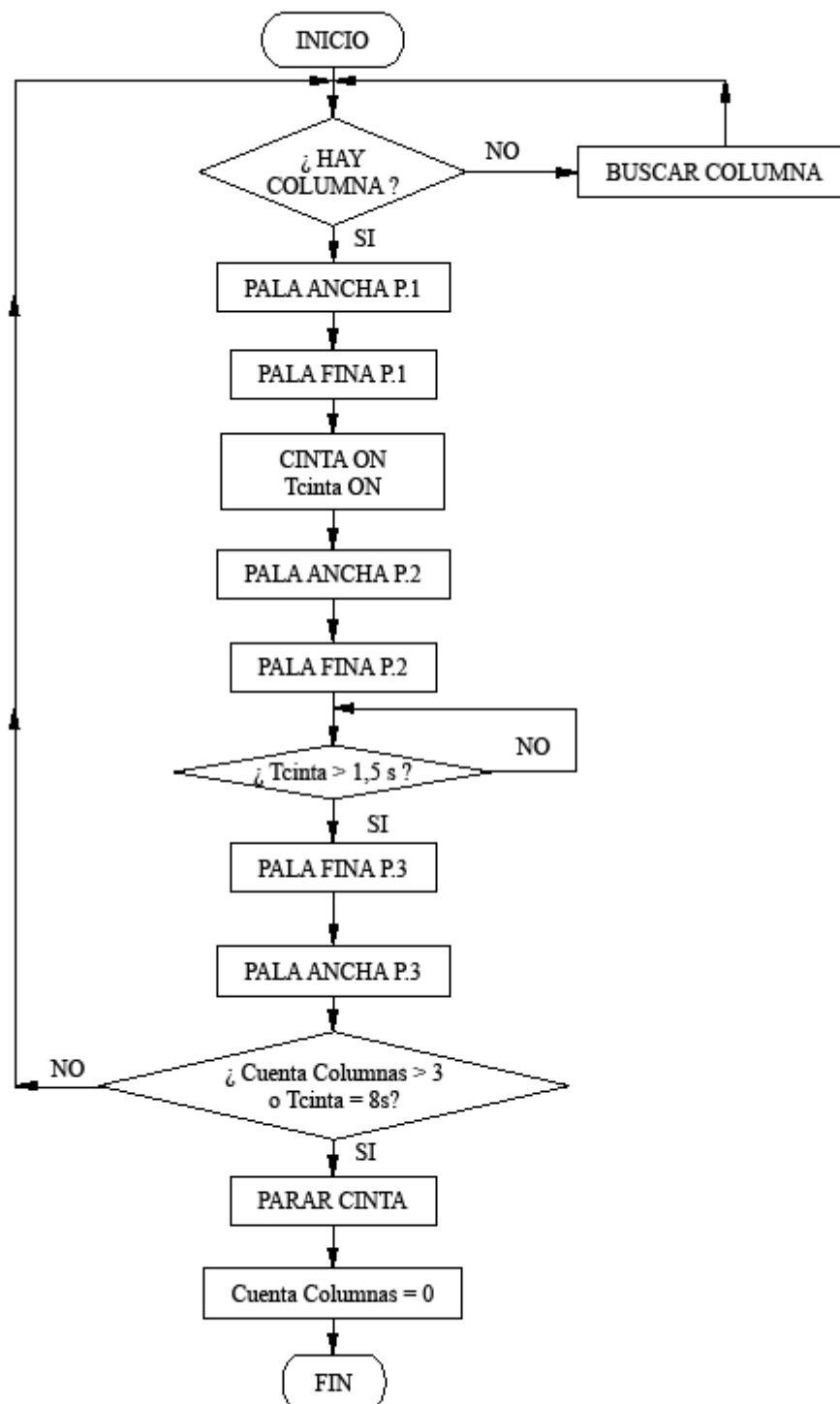
SUBRRUTINA CARGA DE COLUMNAS :

- Comprobar si hay elemento columna delante de la rampa.
 - Sí: Continuar secuencia.
 - No: Subrutina buscar columna: comenzar de nuevo la secuencia.
- Pala ancha Posición 1 (perpendicular al robot).
- Pala fina Posición 1 (engancha el elemento).
- Activar cinta elevadora y el temporizador asociado.
- Pala ancha Posición 2 (sujeta los elementos columna que quedan en el dispensador).
- Pala fina Posición 2 (sube la columna a la cinta elevadora).
- Comprobar si la cinta lleva en funcionamiento 1,5 segundos.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que se cumpla el tiempo.
- Pala fina Posición 3 (abierta al máximo).
- Pala ancha Posición 3 (abierta al máximo).
- Comprobar si se han recogido más de tres columna o han pasado 8 segundos. **
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: comenzar de nuevo la secuencia.
- Parar cinta elevadora.
- Inicializar el contador de columnas.
- Salir de la rutina de carga de columnas.

** En consecuencia con lo citado antes, para la estrategia definitiva se modificó únicamente este punto, y quedando la siguiente forma:

- Comprobar si se han recogido más de una columna o han pasado 5 segundos. **
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: comenzar de nuevo la secuencia.

DIAGRAMA CARGA DE COLUMNAS :





SUBRRUTINA MONTAR COLUMNAS:

- Comprobar si ha llegado la primera columna al final de la cinta elevadora.
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: comenzar de nuevo la secuencia.

- Pala inferior Posición 1 (proporciona un pequeño empujón a la columna).

- Pala inferior Posición 2 (desplaza la columna al extremo izquierdo de la bandeja).

- Pala inferior Posición 0 (posición inicial, pala abierta).

- Comprobar si ha llegado la segunda columna al final de la cinta elevadora.
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: esperar a la segunda columna.

- Pala superior Posición 2 (hace el recorrido completo).

- Pala superior Posición 0 (posición inicial, pala abierta).

- Comprobar si ha llegado la tercera columna al final de la cinta elevadora.
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: esperar a la tercera columna.

- Pala superior Posición 1 (desplaza la columna al extremo izquierdo).

- Pala superior Posición 0 (posición inicial, pala abierta).

- Salir de la rutina de carga de columnas.

El cuarto elemento no necesita colocación, cuando caiga de la cinta elevadora ocupará el hueco libre.

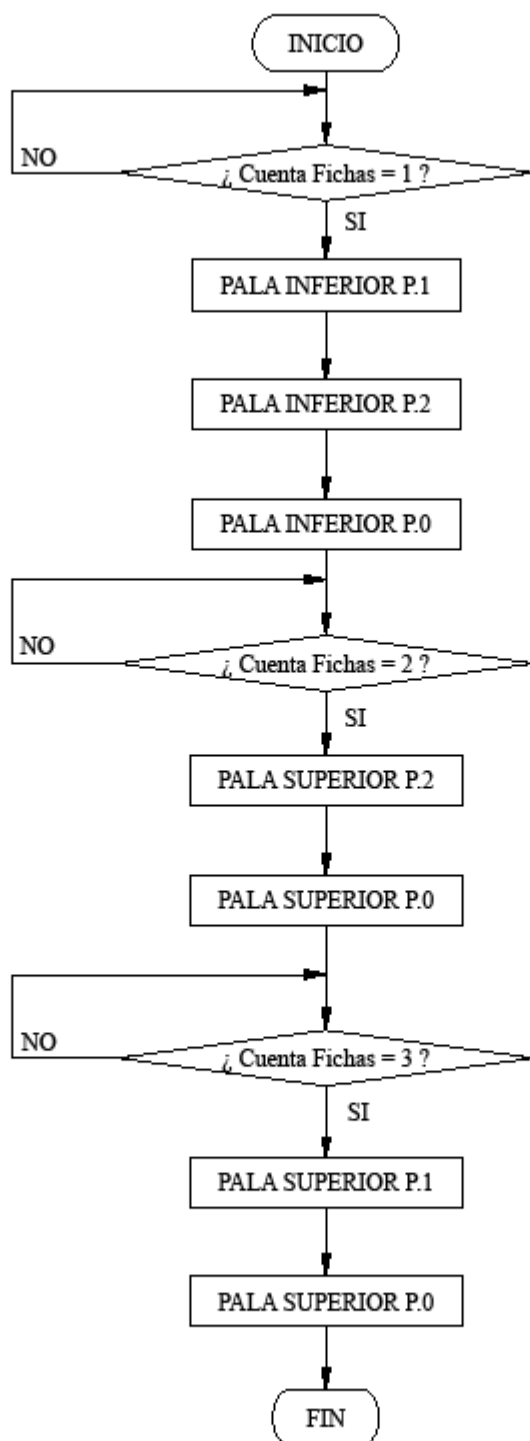


Hay que decir que, en la estrategia definitiva este diagrama queda mucho más simplificado, llevándose a cabo sólo las siguientes acciones:

- ➔ Comprobar si ha llegado la primera columna al final de la cinta elevadora.
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: comenzar de nuevo la secuencia.
- ➔ Pala inferior Posición 1 (proporciona un pequeño empujón a la columna).
- ➔ Pala inferior Posición 2 (desplaza la columna al extremo izquierdo de la bandeja).
- ➔ Pala inferior Posición 0 (posición inicial, pala abierta).
- ➔ Salir de la rutina de carga de columnas.

En este caso, será la segunda columna la que no necesite colocación, porque aunque esta caiga en posición vertical, al chocar para construir volcará para quedar en posición horizontal.

DIAGRAMA MONTAR COLUMNAS:





SUBRRUTINA BUSCA FICHAS:

- Comprobar si se localiza columna lejana.
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: giro horario 0.5 seg.

- ◆ Comprobar si se localiza columna lejana.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: giro antihorario 1.2 seg.

- Comprobar si se localiza columna lejana.
 - ◆ Si: continuar secuencia.
 - ◆ No: Avance.

- Comprobar si se han avanzado 10 cm.
 - Sí: comenzar de nuevo la secuencia.
 - No: Esperar a avanzar los 10 cm.

- Giro horario.

- Comprobar si se ha girado 10°.
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: esperar hasta que gire 10°.

- Avance.

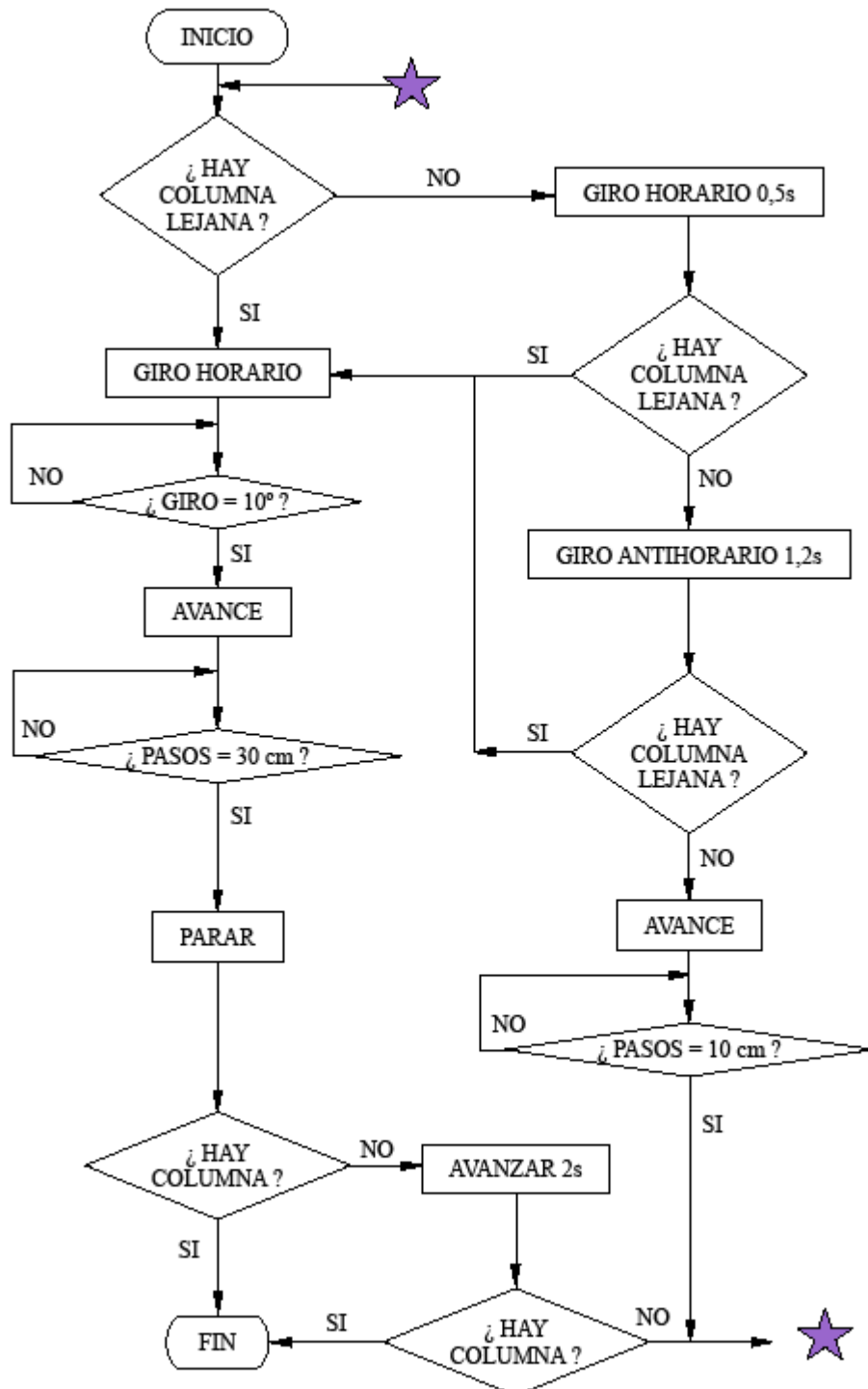
- Comprobar si se a avanzado 30 cm.
 - Sí: continuar la secuencia.
 - No: esperar a que avance los 30 cm.

- Parar.

- Comprobar si hay elemento columna delante de la rampa.
 - Sí: salir de la rutina buscar fichas.
 - No: Avanzar 2seg.

- Comprobar si hay elemento columna delante de la rampa.
 - Si: salir de la rutina buscar fichas.
 - No:comenzar de nuevo la secuencia.

DIAGRAMA BUSCA FICHAS:



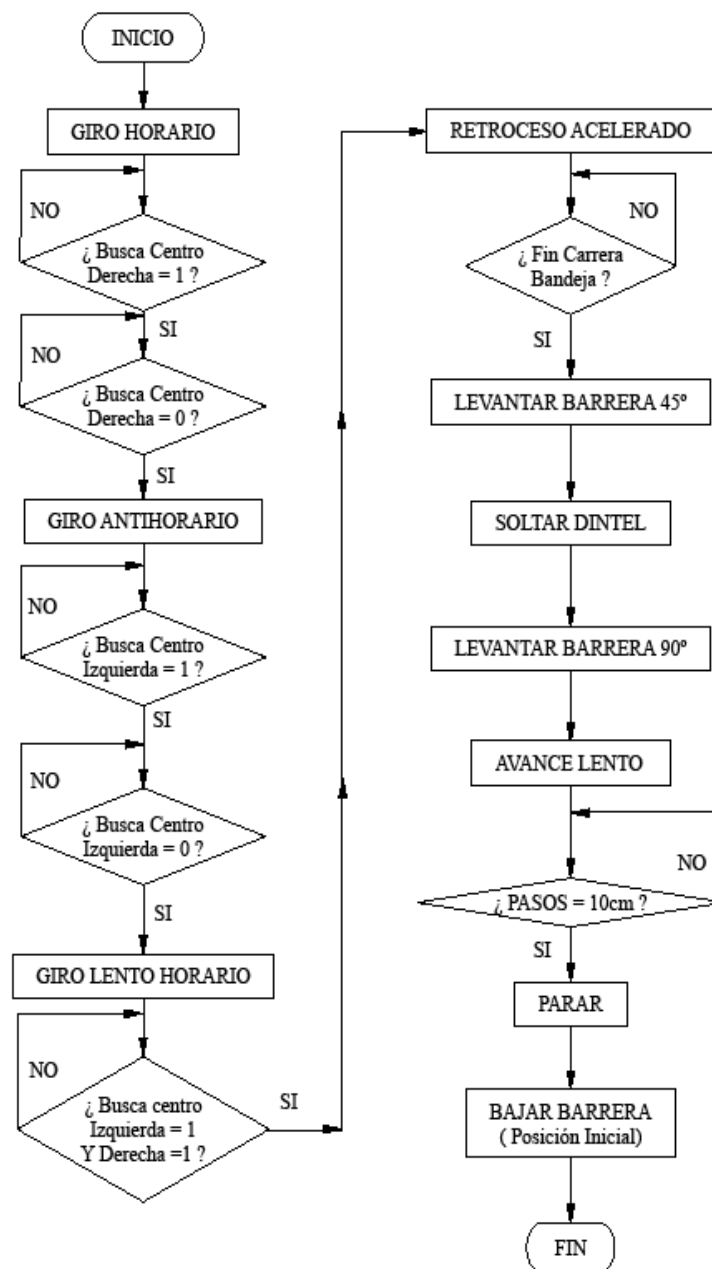


SUBRRUTINA CONSTRUCCIÓN:

- Girar en sentido horario.
- Comprobar si el sensor busca-centros derecho está a nivel alto.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que busca-centros derecho sea “1”.
- Comprobar si el sensor busca-centros derecho está a nivel bajo.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que busca-centros derecho sea “0”.
- Girar en sentido anti horario.
- Comprobar si el sensor busca-centros izquierdo está a nivel alto.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que busca-centros izquierdo sea “1”.
- Comprobar si el sensor busca-centros izquierdo está a nivel bajo.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que busca-centros izquierdo sea “0”.
- Girar lentamente en sentido horario.
- Comprobar si los sensores busca-centros derecho e izquierdo están a nivel alto.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que busca-centros derecho e izquierdo sea “1”.
- Retroceder aceleradamente.
- Comprobar si el sensor de fin de carrera de la bandeja está a nivel alto.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que fin de carrera de la bandeja sea “1”.
- Levantar barrera a 45°.
- Soltar dintel.
- Levantar barrera a 90°.
- Avanzar lentamente.
- Comprobar si se han avanzado 10 cm.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que se avancen los 10 cm.

- ➔ Parar.
- ➔ Llevar barrera a posición horizontal (posición inicial).
- ➔ Salir de la rutina de construcción.

DIAGRAMA CONSTRUCCIÓN:

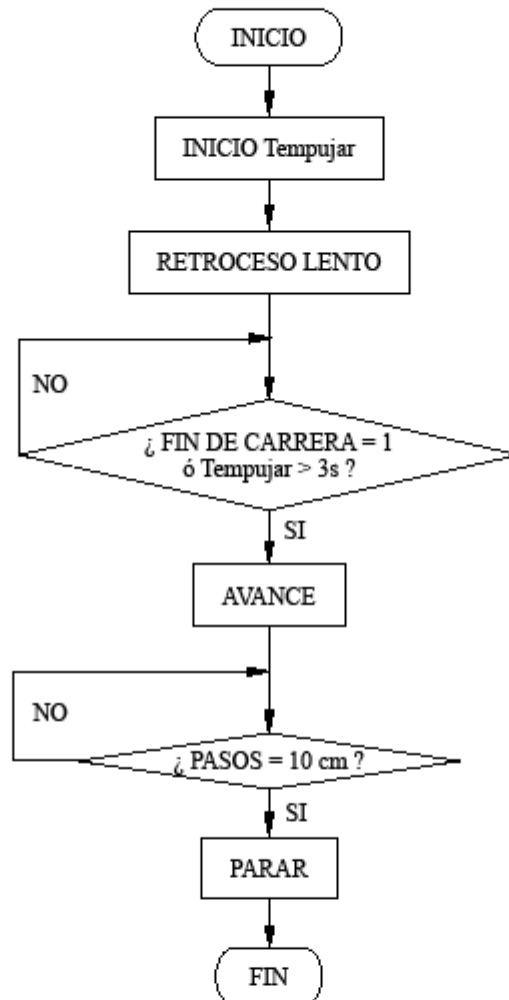




SUBROUTINA EMPUJAR TEMPLO:

- Inicializar el temporizador Tempujar.
- Retroceder lentamente.
- Comprobar si el sensor de fin de carrera de la bandeja está a nivel alto o Tempujar es mayor que 3 seg.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que fin de carrera de la bandeja sea “1” o a que se cumpla el tiempo.
- Avanzar.
- Comprobar si se han avanzado 10 cm.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que se avancen los 10 cm.
- Parar.
- Salir de la rutina empujar templo.

DIAGRAMA EMPUJAR TEMPLO:

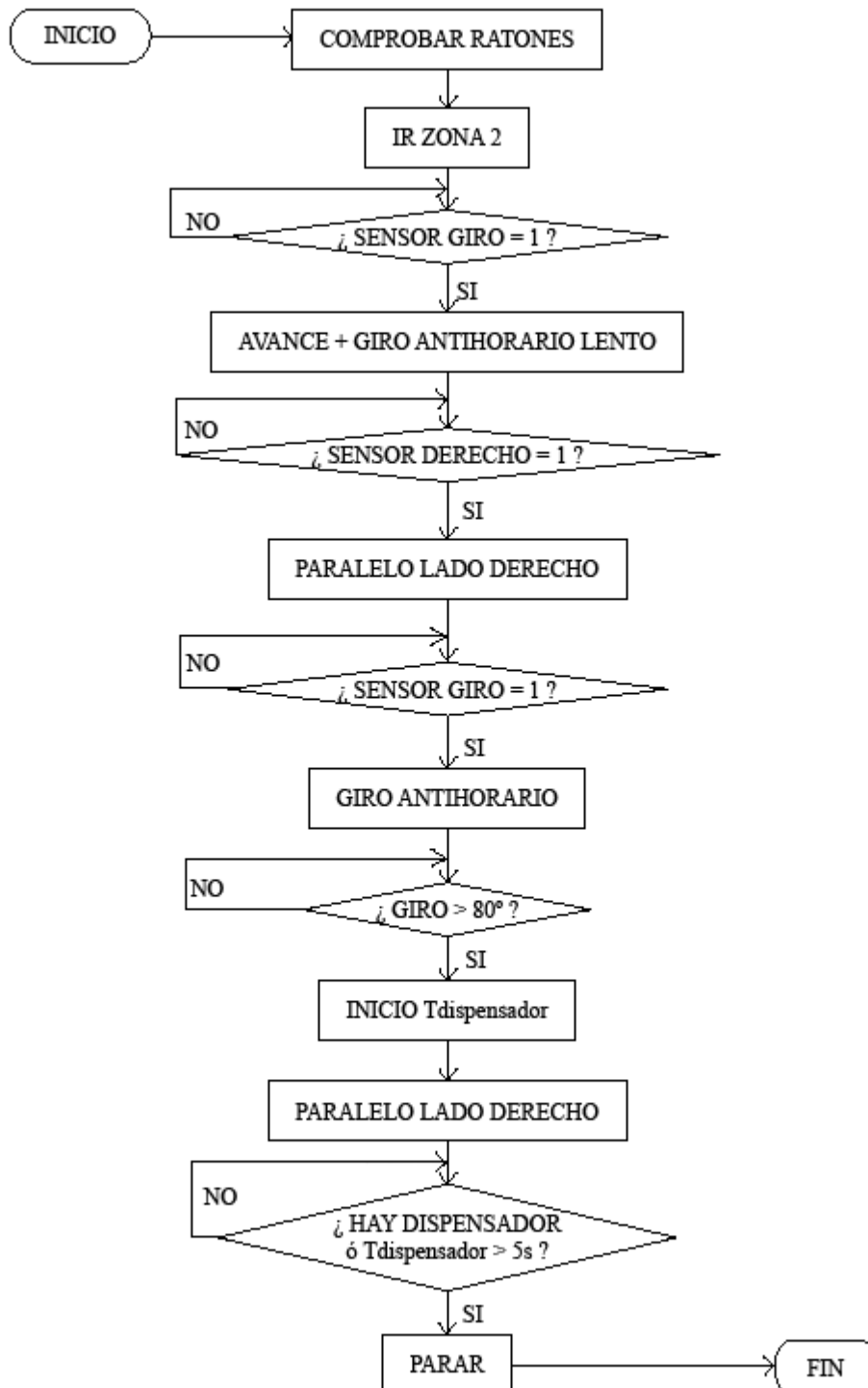




SUBROUTINA BUSCAR DISPENSADOR:

- Comprobar ratones.
- Ir a zona 2.
- Comprobar si el sensor de giro está a nivel alto.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que el sensor de giro sea “1”.
- Avanzar y girar lentamente en sentido horario.
- Comprobar si el sensor lateral derecho está a nivel alto.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que el sensor lateral derecho sea “1”.
- Avanzar paralelo al borde derecho.
- Comprobar si el sensor de giro está a nivel alto.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a que el sensor de giro sea “1”.
- Girar en sentido anti horario.
- Comprobar si se ha girado 80° .
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a girar 80° .
- Iniciar el temporizador Tdispensador.
- Avanzar paralelo al borde derecho.
- Comprobar si el sensor de fin de carrera del dispensador está a nivel alto o si Tdispensador es mayor a 5 seg.
 - Sí: continuar secuencia.
 - No: Esperar a a que el sensor del dispensador sea “1” o que Tdispensador supere los 5 seg.
- Parar.
- Salir de rutina buscar dispensador.

DIAGRAMA BUSCAR DISPENSADOR:





Capítulo 8

8. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y MEJORAS

8.1. RESULTADOS

Los resultados obtenidos por el equipo LSI de la Universidad Carlos III de Madrid, representado por el microrobot Iron-Paco, en las competiciones en las que ha participado, han sido los siguientes:

- **Segundo puesto** en el certamen nacional **Hispabot 2009** (Universidad de Alcalá de Henares, España), puesto clasificatorio para la prueba Eurobot 2009: Templos de la Atlántida.
- **Trigésimo sexto puesto** en la prueba internacional **Eurobot 2009: Templos de la Atlántida** (La Ferté Bernard, Francia), prueba a la que se presentaron más de ochenta equipos. Se consiguió la homologación en primera ronda, al igual que otros treinta y tres equipos de todos los representados.

8.2. CONCLUSIONES

Realizando un balance de los resultados y la respuesta del robot a lo largo de la competición, se puede concluir que se superó el objetivo de clasificación para participar en la competición internacional Eurobot 09.

A continuación se hará la valoración de todos los sistemas que conforman el microrrobot autónomo, descritos a lo largo de este proyecto:

- ◆ **Estructura:** Ésta mostró la suficiente robustez para sustentar todos los elementos, demostrando gran resistencia a los golpes. Sin embargo, la base se construyó de un material demasiado flexible, sufriendo así un efecto pandeo agravado por los recortes practicados en ésta para la colocación de los ratones. Se pudo solucionar aumentando el número de ruedas locas.



- ◆ Sistema locomotor: Los motores ofrecieron suficiente par como para desplazar al robot, sus sistemas y los elementos de construcción que debía transportar, además de adecuarse a las velocidades demandadas. Por otro lado, las ruedas motrices debido al continuo funcionamiento y las constantes vibraciones, se aflojaban de su eje con el transcurso de las pruebas, lo que provocaba una desviación considerable de la trayectoria. La solución adoptada para este problema era sencilla: controlar la tornillería, revisando las uniones de forma periódica.
- ◆ Actuadores: El motor de corriente continua que rige la cinta transportadora otorgó el par necesario para mover la cinta. El control de los servomotores ha sido el deseado, consiguiendo que sus actuaciones fueran precisas.
- ◆ Alimentación: Las baterías adquiridas fueron capaces de alimentar todos los sistemas durante más de dos partidos consecutivos, incluyendo el tiempo de preparación anterior a ellos (tres minutos).
- ◆ Electrónica: Las placas de potencia, así como las de control e intermedias han dado los resultados esperados, cumpliendo gratamente con los objetivos deseados.
- ◆ Sensorización: Los sensores de contacto funcionaron correctamente en todo momento. Mientras que los sensores infrarrojos mostraron que se podían ver afectados por luces de gran potencia, si éstas se encontraban de frente a los sensores, pudiendo hacer que éstos vieran la luz como un elemento del terreno.

Los encoders proporcionaron una resolución de 0.56 mm, más que suficiente para el control por odometría del robot, surgiendo tan solo errores cuando éste era embestido por otro robot. Para solucionar este problema se incorporaron unos ratones ópticos que proporcionarían información de estos movimientos, esperándose una resolución mayor que los encoders, para así poder obtener movimientos de tan solo 0.25 mm. Éste no fue ni mucho menos el resultado obtenido, consiguiendo tan sólo ubicarse en cuadrantes de 50 x 50 cm.

- ◆ Control: Uno de los aspectos de mejora con respecto a los robots de otras ediciones ha sido el empleo de una placa base industrial que gestiona de forma rápida y eficaz los datos recibidos y enviados.
- ◆ Sistema de recogida y montaje: Las palas de ambos sistemas mostraron una gran dificultad a la hora de su diseño, aunque al final se ha obtenido un buen resultado a base de “prueba-error”, lo que ha llevado mucho tiempo y esfuerzo.
- ◆ La elevación: Una de las mayores dificultades de funcionamiento que surgieron fue el correcto funcionamiento de la cinta transportadora,



pues se desconocía la alta precisión que requiere un montaje como el realizado. Para un correcto funcionamiento de la misma es preciso un perfecto ajuste de los ejes, que tienen que estar totalmente paralelos entre sí y concéntricos a sus respectivos ejes de giro. Sin embargo, ya que dentro de nuestros medios no disponemos de los equipos necesarios para realizar correctamente este ajuste, se dispusieron varios correctores que consiguieron subsanar el desvío de la cinta.

- ◆ *La construcción:* Los sistemas que engloban la construcción tales como la bandeja y el sistema de dintel precargado, funcionaron correctamente, obteniéndose en la mayor parte de los casos una construcción completa.

8.3. MEJORAS

Existen varias mejoras aplicables a este proyecto de los que se puede destacar:

- Un sistema de construcción capaz de edificar de forma segura en cualquiera de las áreas de construcción, pudiendo conseguirlo mediante el desarrollo de una plataforma móvil donde construir el templo y elevarlo mediante un sistema de tornillos sin fin.
- También podría desarrollarse un sistema capaz de montar templos de columnas mucho más altas, a través de un brazo móvil con un sistema neumático que permitiría coger todo tipo de elementos de construcción.

Existen también varias mejoras que se podrían aplicar tanto a este robot como a cualquier otro robot autónomo destinado a competir en próximas ediciones, tales como:

- ➔ En vez de incorporar los ratones, se podrían sustituir por encoders ópticos acoplados a ruedas libres de gran adherencia, que muestren la trayectoria real del robot, ya que se pueden conseguir grandes resoluciones con este sistema y evitar los errores por colisión.
- ➔ Para el posicionamiento, también se puede implementar un sistema de balizamiento por triangulación, propio del ámbito de las telecomunicaciones. Mediante un sistema de estas características se podría obtener además de la localización del robot propio, la situación del oponente.
- ➔ Se podría optimizar el sistema de alimentación dotándolo de distintas etapas y alimentando en cada momento únicamente los sistemas necesarios en ese instante.
- ➔ La implementación de un sistema de visión que distinga las distintas formas de los elementos de juego o el color de estos, según exija la prueba del Eurobot en ese año.



Capítulo 9

9. PRESUPUESTO

A continuación serán detallados los costes derivados del diseño y construcción del microrobot “Iron-Paco”. En él se incluirán tanto los gastos originados por la compra de materiales como por la mano de obra necesaria para la ejecución del proyecto. Todas las cantidades mostradas a continuación estarán en Euros.

Los precios unitarios de material que aparecen en los siguientes apartados son orientativos y pueden verse modificados en función del modo de compra, el lugar de compra y el número de unidades de compradas.



Capítulo I. ESTRUCTURA.

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio TOTAL
E.01	Lamina de policarbonato extruido, transparente, de 5mm de espesor	m ²	2	85,6	171,2
E.02	Ángulo de aluminio de 3mm de espesor (250mm x 250mm)	ml	1	5,1	5,1
E.03	Bisagra de aluminio de 1 y 3/4"	ud.	7	0,18	1,26
E.04	Material de ferretería	varios	1	30	30
TOTAL ESTRUCTURA					207,56

Capítulo II. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN.

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio TOTAL
C.01	Servomotor Futaba S-3003 Standard	ud.	6	10,79	64,74
C.02	Motor reductor de corriente continua 12V 200 r.p.m.	ud.	1	29,46	29,46
C.03	Plancha de aluminio de 1,5mm de espesor	m ²	2	80,25	160,5
C.04	Cinta de caucho (70mm x 2mm)	ml	2	9,3	18,6
C.05	Ángulo de aluminio de 1,5mm de espesor (200mm x 200mm)	ml	2	4,3	8,6
C.06	Fleje (20mm x 330mm)	ud.	1	1,2	1,2
C.07	Eje torneado	ud.	1	51,3	51,3
C.08	Varilla de acero de 5mm de diametro	ml	1	4	4
C.09	Varilla roscada de aluminio de 4mm	ml	1	5,3	5,3
C.10	Estructura de apoyo de aluminio	ud.	2	27,8	55,6
TOTAL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN					399,3



Capítulo III. SISTEMA ELECTRÓNICO Y CONTROL.

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio TOTAL
S.01	Placas de circuito de impreso (microcontrolador y drivers)	ud.	2	150	300
S.02	Placas de circuito de impreso (Potencia y Acondicionamiento de señal multiple)	ud.	4	70	280
S.03	Placas de circuito de impreso (Acondicionamiento de señal simple)	ud.	9	30	270
S.04	Bateria Yuasa NPH5-12 de 12V y 5Ah	ud.	2	31,58	63,16
S.05	Placa base	ud.	1	215,13	215,13
S.06	Microcontrolador 5082	ud.	2	18,3	36,6
S.07	Bobina de conexionado varios (0,25mm 10mtr)	ud.	3	1,32	3,96
S.08	Bobinas cable alimentación 0,5 mm (10mtr)	ud.	2	1,4	2,8
S.09	Sensor de infrarrojos GP2D12	ud.	14	14,56	203,84
S.10	Sensor de infrarrojos GP2D120	ud.	6	18,68	112,08
S.11	Sensor de final de carrera (Bumper)	ud.	2	1,3	2,6
S.12	Ratón óptico Trust	ud.	2	12,7	25,4
S.13	Pulsador de parada de emergencia	ud.	1	19,48	19,48
S.14	Protector helicoidal para cables	ml.	10	0,57	5,7
S.15	Componentes electrónicos	varios	1	48,4	48,4
TOTAL SISTEMA ELECTRONICO Y CONTROL					1589,15



Capítulo IV. SISTEMA LOCOMOTOR.

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio TOTAL
L.01	Motores con reductora y encoders incorporados	ud.	2	178	356
L.02	Pack 4 ruedas	ud.	1	25	25
L.03	Rueda loca central	ud.	1	4,7	4,7
L.04	Rueda loca delantera con soporte de acero incluido	ud.	2	38,2	76,4
L.05	Casquillos	ud.	2	30,3	60,6
TOTAL SISTEMA LOCOMOTOR					522,7

Capítulo V. CAMPO DE PRUEBAS.

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio TOTAL
P.01	Tablero de DM	ud.	1	550	550
P.02	Listones de madera	ud.	10	2,35	23,5
P.03	Material de ferretería	varios	1	25,5	25,5
P.04	Pintura azul	ud.	1	11	11
P.05	Lámina de plexiglas transparente de 3mm de espesor	m ²	2	15	30
TOTAL CAMPO DE PRUEBAS					640

Capítulo VI. COSTE DE PERSONAL.

Código	Concepto	Sueldo mensual	Meses	Precio unitario
M.01	Ingeniero técnico industrial	1500	7	10500
M.02	Ayudante	500	7	3500
<i>Total antes de impuestos</i>				14000
TOTAL COSTE DE PERSONAL				18060

RESUMEN DEL PRESUPUESTO.

Capítulo.	Concepto	TOTAL
I	ESTRUCTURA	207,56
II	SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	399,30
III	SISTEMA ELECTRONICO Y CONTROL	1589,15
IV	SISTEMA LOCOMOTOR	522,70
V	CAMPO DE PRUEBAS	640,00
VI	COSTE DE PERSONAL	18060,00
TOTAL EN EUROS		21418,71



Capítulo 10

10. Bibliografía

10.1. RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS

- [1] SISTEMA DE CONTROL DE TRACCIÓN Y POSICIONAMIENTO DE UN MICROROBOT EUROBOT 2008. Roberto Apéstigue Oreja. PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [2] DISEÑO DEL SISTEMA CONTROL Y ACONDICIONAMIENTO DE RECOGIDA DE MUESTRAS. EUROBOT 2008. José Luis Martín Gómez. PFC Universidad Carlos III de Madrid.
- [3] DISEÑO ELECTRÓNICO DE UN MICROROBOT “EUROBOT 2008”. José Ignacio Albillo Arribas. PFC Universidad Carlos III de Madrid.

10.2. RECURSOS INFORMÁTICOS

- [4] Real Academia de la lengua Española <http://www.rae.es/rae.html>
- [5] (http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/automatas_en_la_historia.htm)
- [6] Robotica – WikiLibros (<http://es.wikibooks.org/wiki/Rob%C3%B3tica>)
- [7] http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/ROB/optativos/historia_honda/Historia.htm
- [8] http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/automatas_en_la_historia.htm
- [9] <http://es.wikipedia.org/wiki/Robot>
- [10] http://es.wikipedia.org/wiki/Tres_leyes_de_la_rob%C3%B3tica
- [11] <http://www.leia.es/E-ROBOT/clasificacion.html>



- [12] <http://www.dei.uc.edu.py/tai2002/IA/arquitectura.htm>
- [13] <http://www.muchotrasto.com/TiposDePlataformas.php>
- [14] http://html.rincondelvago.com/resistencia-de-materiales_ensayo-de-pandeo.html
- [15] <http://www.Bernio.it>
- [16] <http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r68/r68.htm>
- [17] <http://www.superrobotica.com/S330135.htm>
- [18] <http://es.rs-online.com/web/search/searchBrowseAction.html?method=searchProducts&searchTerm=NPH5-12&x=0&y=0>
- [19] http://es.wikipedia.org/wiki/Sensores_infrarrojos
- [20] <http://www.terra.es/personal/fremiro/Archivos/GP2d12%20.PDF>
- [21] <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Otros/Infrarrojos/MedidaDistancias.htm>
- [22] <http://www.superrobotica.com/S320104.htm>
- [23] <http://sensoresdeproximidad.galeon.com/#carrera>
- [24] <http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>
- [25] <http://www.info-ab.uclm.es/labelec/Solar/Componentes/SPOSICION.htm>
- [26] <http://www.ordenadores-y-portatiles.com/raton-optico.html>
- [27] <http://es.kioskea.net/contents/pc/souris.php3>



ANEXOS

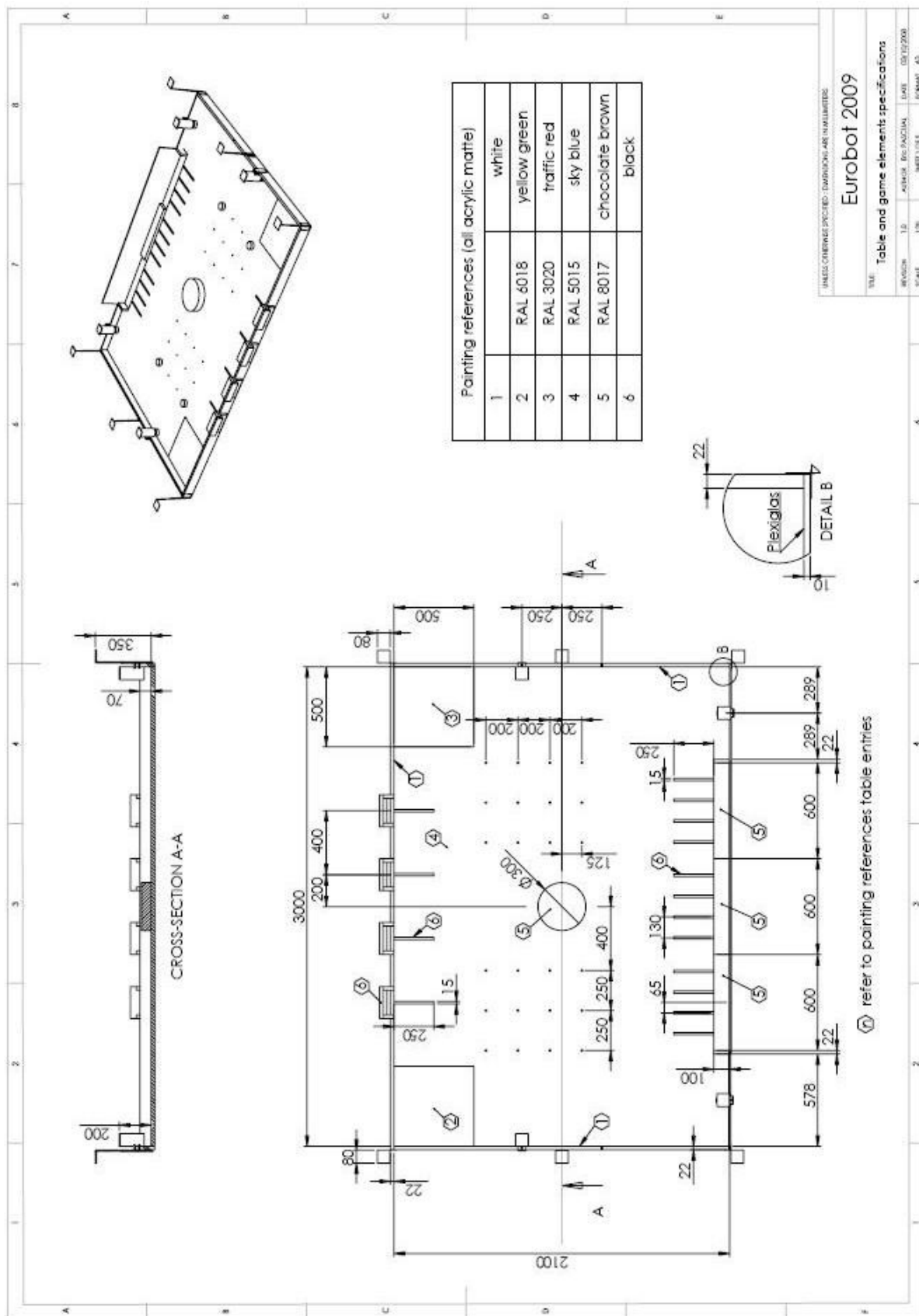
Eurobot 2009:

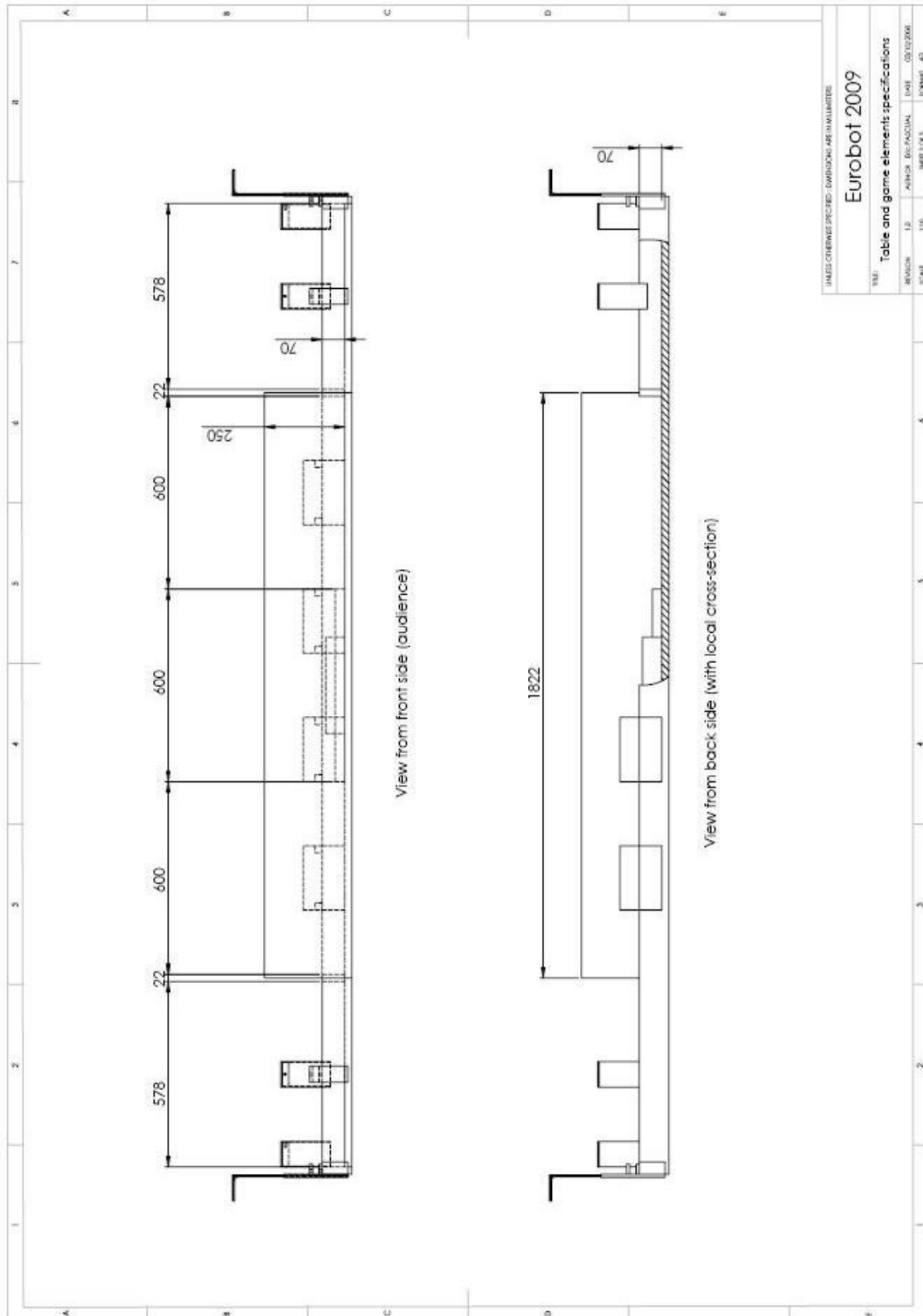
- A.1. Dibujos técnicos**
- A.2. Cartas aleatorias de elementos libres**

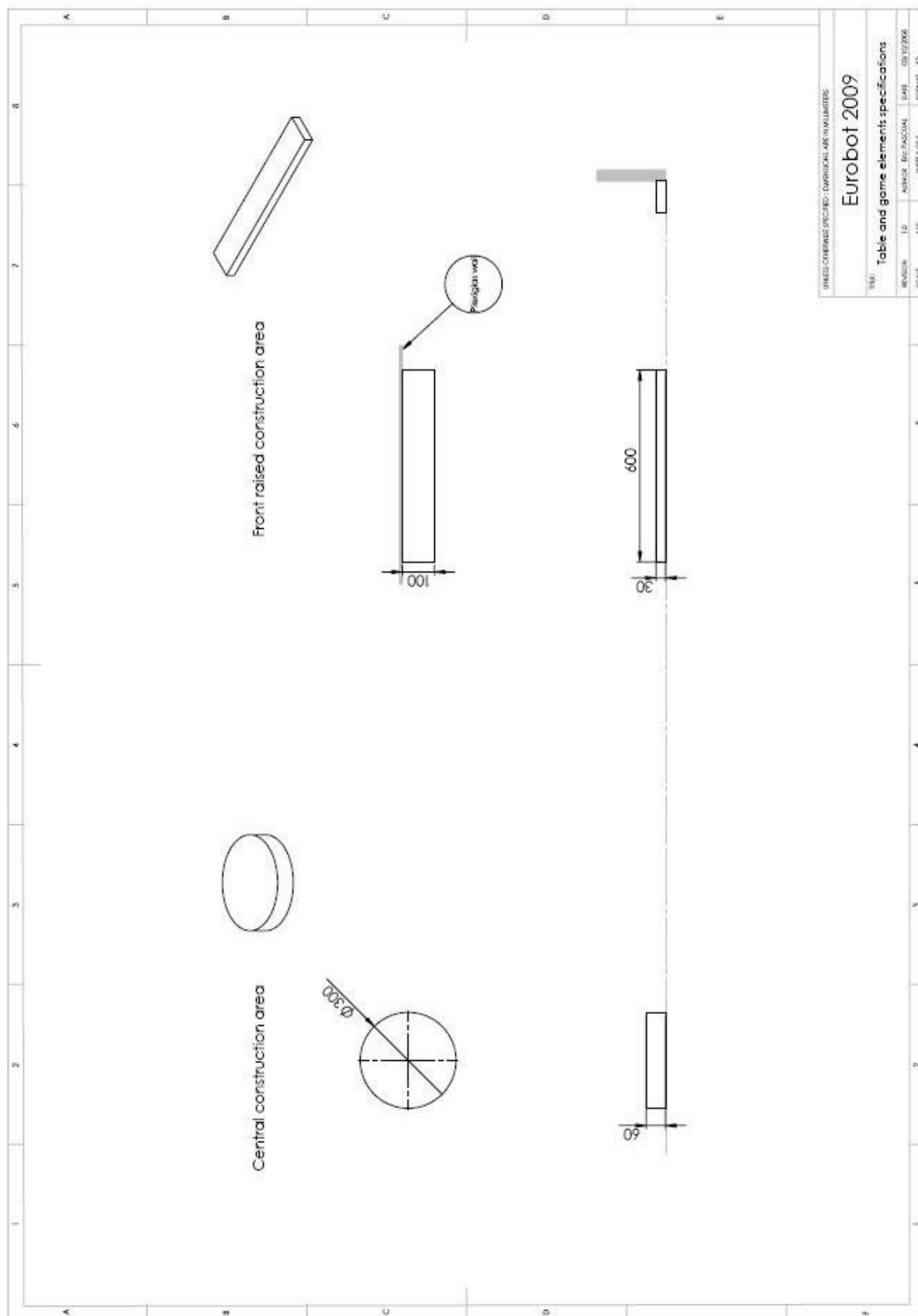
Microrobot Iron-Paco:

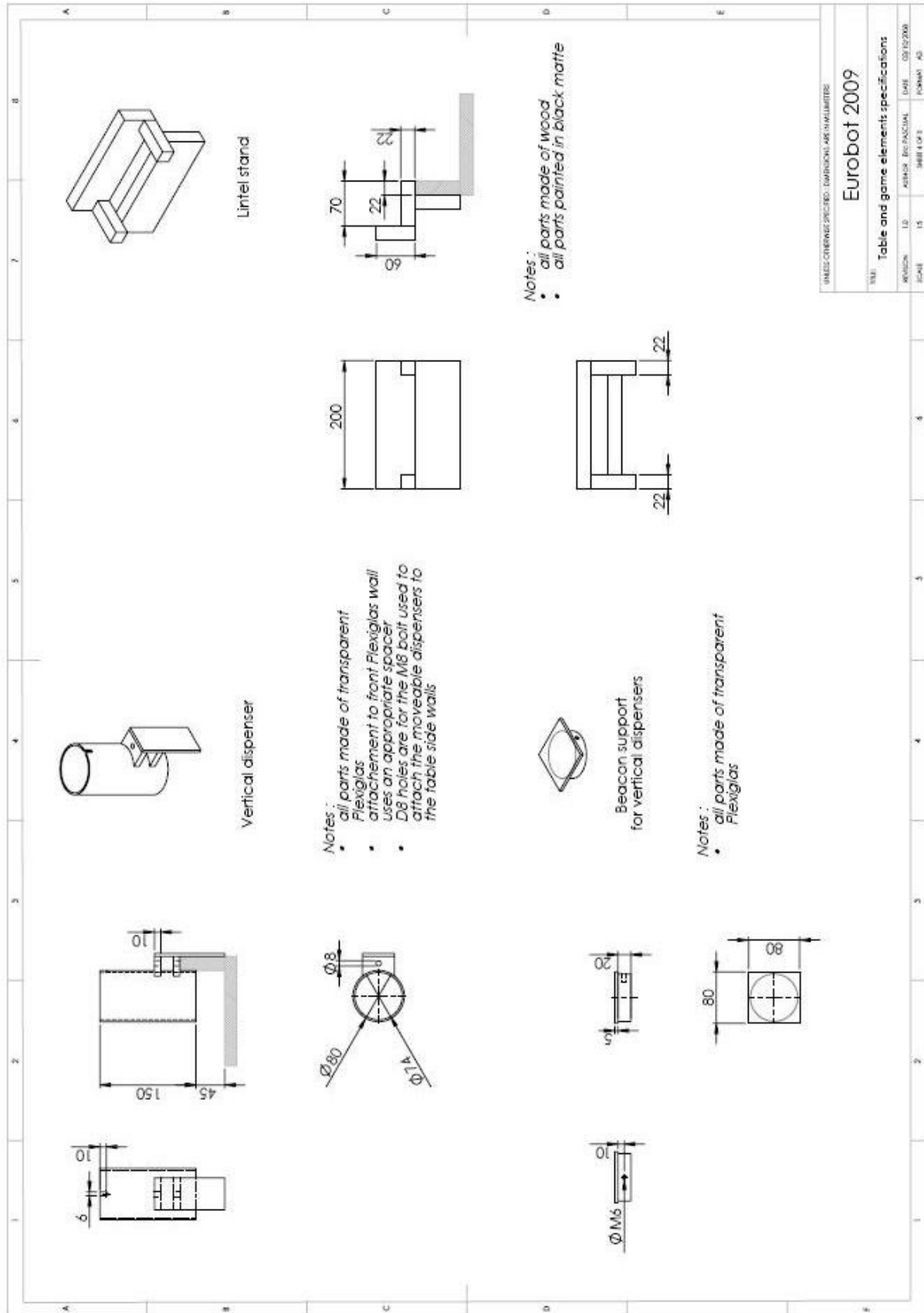
- A.3. Plano de la base**
- A.4. Plano de la pared trasera**
- A.5. Hojas de características LM2599**
- A.6. Hojas de características driver motores**

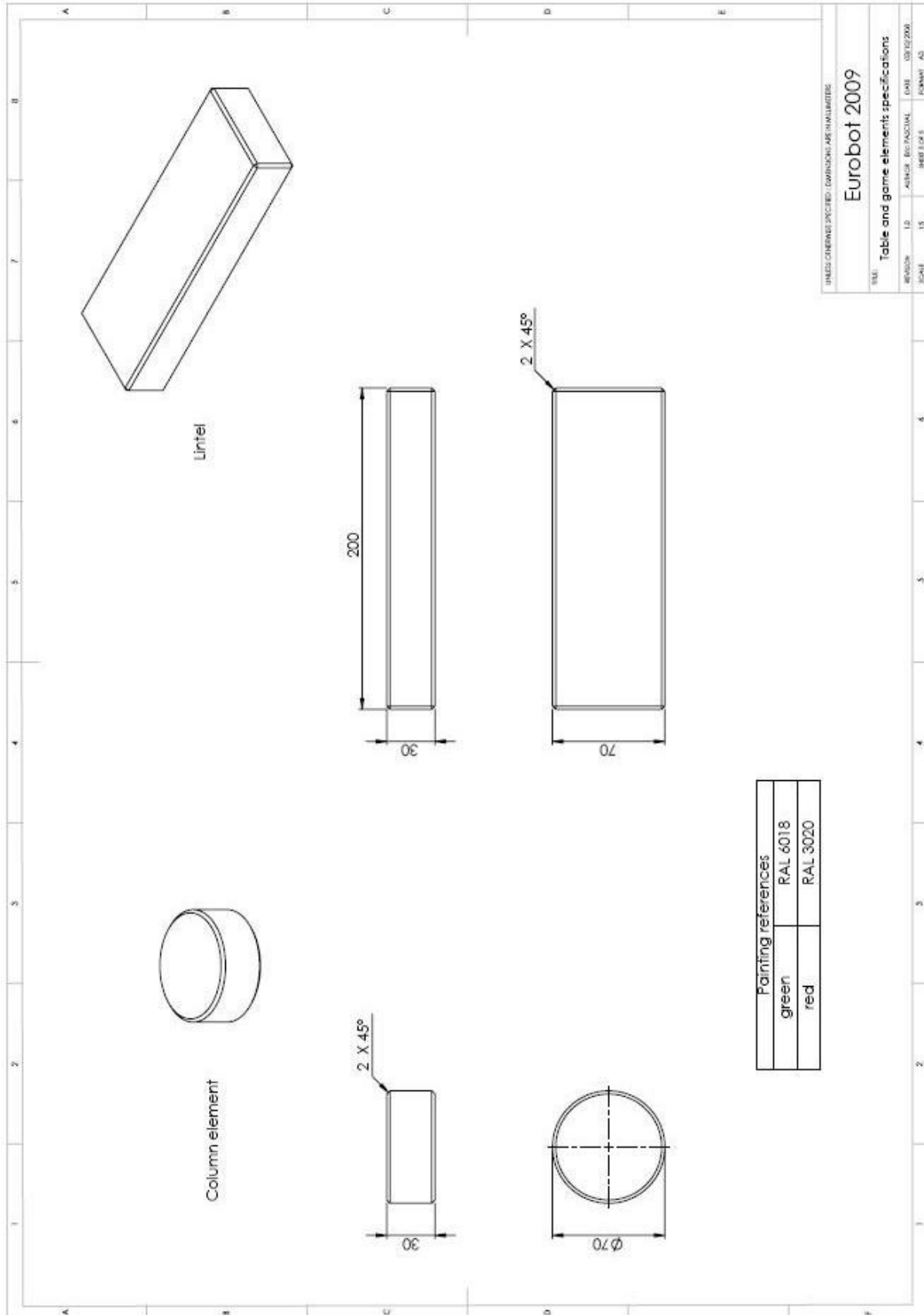
A.1 Dibujos técnicos



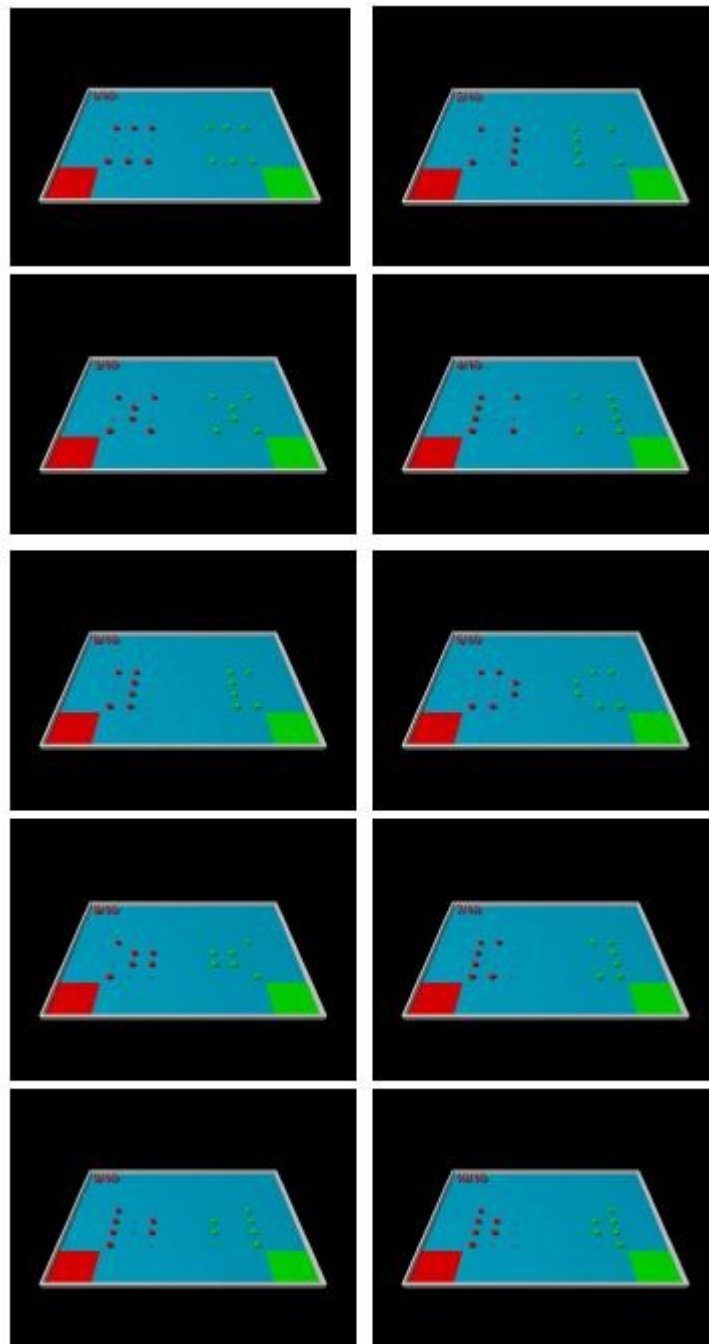




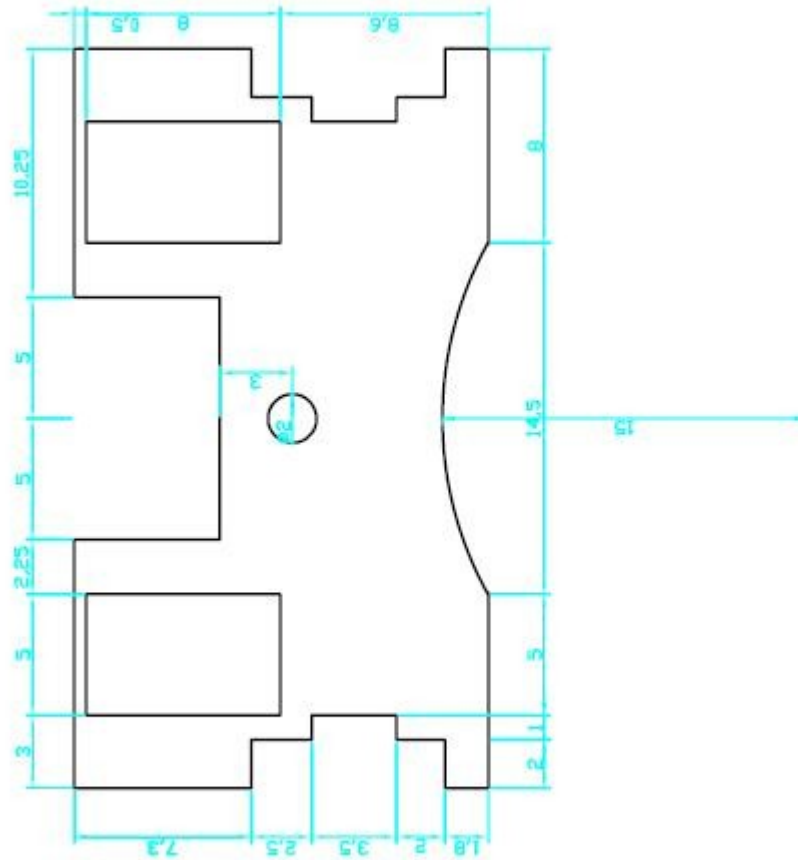




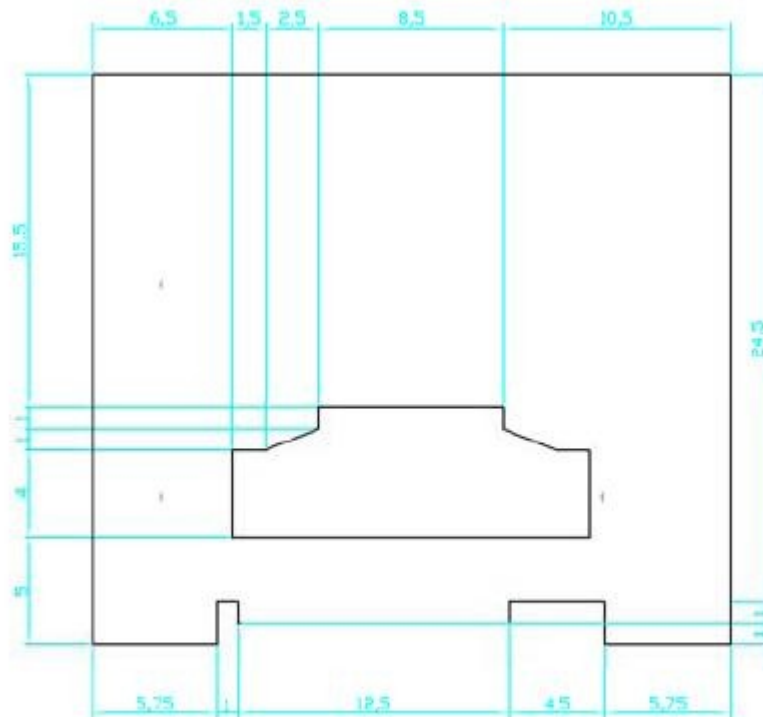
A.2. Cartas aleatorias de elementos libres




A.3. Plano de la base



A.4. Plano de la pared trasera



A.5. Hojas de características LM2599


December 2000

LM2599 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator, with Features

General Description

The LM2599 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, and an adjustable output version.

This series of switching regulators is similar to the LM2596 series, with additional supervisory and performance features added.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation†, improved line and load specifications, fixed-frequency oscillator, Shutdown/Soft-start, error flag delay and error flag output.

The LM2599 series operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 7-lead TO-220 package with several different lead bend options, and a 7-lead TO-263 Surface mount package.

A standard series of inductors (both through hole and surface mount types) are available from several different manufacturers optimized for use with the LM2599 series. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage under all conditions of input voltage and output load conditions, and $\pm 15\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring typically $80 \mu\text{A}$ standby current. Self protection features include a two stage current limit for the output switch and an over temperature shutdown for complete protection under fault conditions.

Features

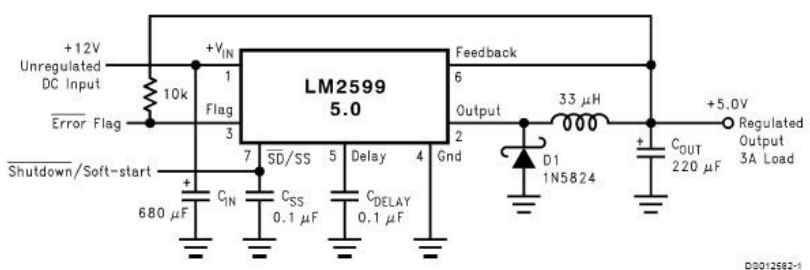
- 3.3V, 5V, 12V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.2V to 37V $\pm 4\%$ max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Available in 7-pin TO-220 and TO-263 (surface mount) Package
- Input voltage range up to 40V
- 150 kHz fixed frequency internal oscillator
- Shutdown/Soft-start
- Out of regulation error flag
- Error output delay
- Low power standby mode, I_Q typically $80 \mu\text{A}$
- High Efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection

Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to Negative converter

Note: † Patent Number 5,382,918.

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



00012582-1

SIMPLE SWITCHER® and Switchers Made Simple® are registered trademarks of National Semiconductor Corporation.

LM2599 SIMPLE SWITCHER Power Converter 150 KHZ 3A Step-Down Voltage Regulator, with Features

LM2599

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Maximum Supply Voltage (V_{IN})	45V
\overline{SD} /SS Pin Input Voltage (Note 2)	6V
Delay Pin Voltage (Note 2)	1.5V
Flag Pin Voltage	$-0.3 \leq V \leq 45V$
Feedback Pin Voltage	$-0.3 \leq V \leq +25V$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally limited
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$

ESD Susceptibility

Human Body Model (Note 3)	2 kV
Lead Temperature	
S Package	
Vapor Phase (60 sec.)	$+215^{\circ}C$
Infrared (10 sec.)	$+245^{\circ}C$
T Package (Soldering, 10 sec.)	$+260^{\circ}C$
Maximum Junction Temperature	$+150^{\circ}C$

Operating Conditions

Temperature Range	$-40^{\circ}C \leq T_J \leq +125^{\circ}C$
Supply Voltage	4.5V to 40V

LM2599-5.0 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}C$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-5.0		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 6) Test Circuit Figure 1					
V_{OUT}	Output Voltage	$7V \leq V_{IN} \leq 40V, 0.2A \leq I_{LOAD} \leq 3A$	5	4.800/4.750 5.200/5.250	V V(min) V(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 3A$	80		%

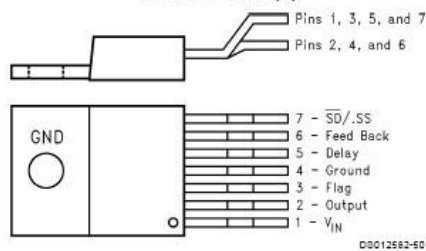
LM2599-ADJ Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^{\circ}C$, and those with boldface type apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2599-ADJ		Units (Limits)
			Typ (Note 4)	Limit (Note 5)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 6) Test Circuit Figure 1					
V_{FB}	Feedback Voltage	$4.5V \leq V_{IN} \leq 40V, 0.2A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ V_{OUT} programmed for 3V. Circuit of Figure 1.	1.230	1.193/1.180 1.267/1.280	V V(min) V(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12V, V_{OUT} = 3V, I_{LOAD} = 3A$	73		%

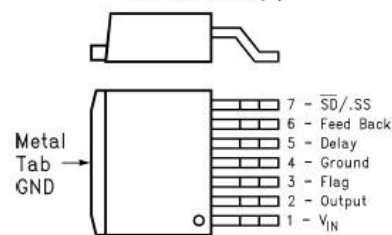
Connection Diagrams and Order Information

Bent and Staggered Leads, Through Hole Package
7-Lead TO-220 (T)



Order Number LM2599T-3.3, LM2599T-5.0,
LM2599T-12 or LM2599T-ADJ
See NS Package Number TA07B

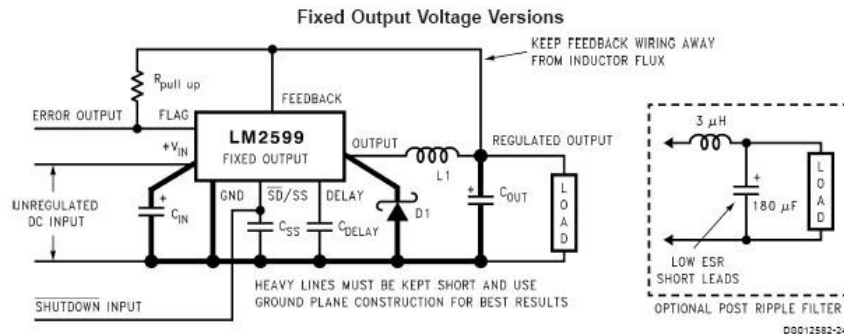
Surface Mount Package
7-Lead TO-263 (S)



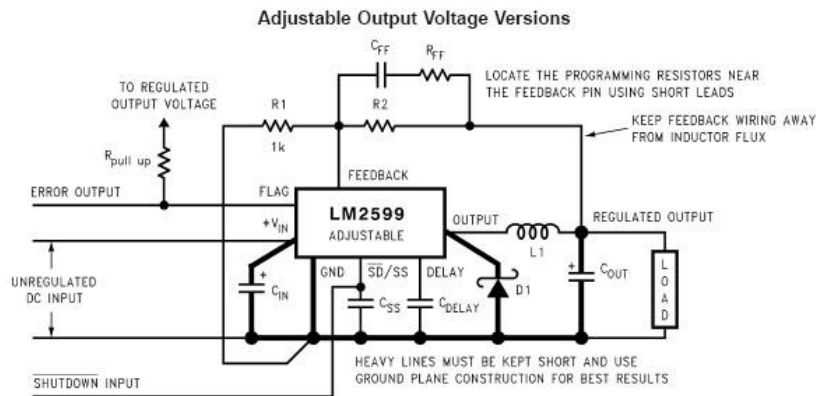
Order Number LM2599S-3.3, LM2599S-5.0,
LM2599S-12 or LM2599S-ADJ
See NS Package Number TS7B

LM2599

Test Circuit and Layout Guidelines



Component Values shown are for $V_{IN} = 15V$,
 $V_{OUT} = 5V$, $I_{LOAD} = 3A$.
 C_{IN} — 470 μF , 50V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"
 C_{OUT} — 220 μF , 25V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"
 $D1$ — 5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825
 $L1$ — 68 μH , L38
Typical Values
 C_{SS} — 0.1 μF
 C_{DELAY} — 0.1 μF
 $R_{PULL UP}$ — 4.7k



$$V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

where $V_{REF} = 1.23V$


$$R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select R_1 to be approximately 1 k Ω , use a 1% resistor for best stability.
 Component Values shown are for $V_{IN} = 20V$,
 $V_{OUT} = 10V$, $I_{LOAD} = 3A$.
 C_{IN} — 470 μF , 35V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"
 C_{OUT} — 220 μF , 35V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"
 $D1$ — 5A, 30V Schottky Rectifier, 1N5824
 $L1$ — 68 μH , L38
 R_1 — 1 k Ω , 1%
 R_2 — 7.15k, 1%
 C_{FF} — 3.3 nF, See Application Information Section
 R_{FF} — 3 k Ω , See Application Information Section
Typical Values
 C_{SS} — 0.1 μF
 C_{DELAY} — 0.1 μF
 $R_{PULL UP}$ — 4.7k

A.6. Hojas de características driver motores

LMD18200 3A, 55V H-Bridge

December 1999



LMD18200 3A, 55V H-Bridge

General Description

The LMD18200 is a 3A H-Bridge designed for motion control applications. The device is built using a multi-technology process which combines bipolar and CMOS control circuitry with DMOS power devices on the same monolithic structure. Ideal for driving DC and stepper motors; the LMD18200 accommodates peak output currents up to 6A. An innovative circuit which facilitates low-loss sensing of the output current has been implemented.

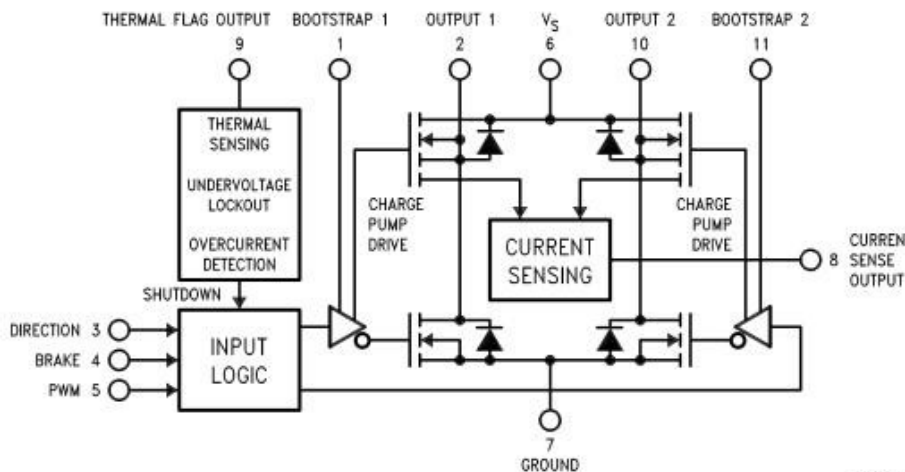
Features

- Delivers up to 3A continuous output
- Operates at supply voltages up to 55V
- Low $R_{DS(ON)}$ typically 0.3 Ω per switch
- TTL and CMOS compatible inputs

Applications

- DC and stepper motor drives
- Position and velocity servomechanisms
- Factory automation robots
- Numerically controlled machinery
- Computer printers and plotters

Functional Diagram

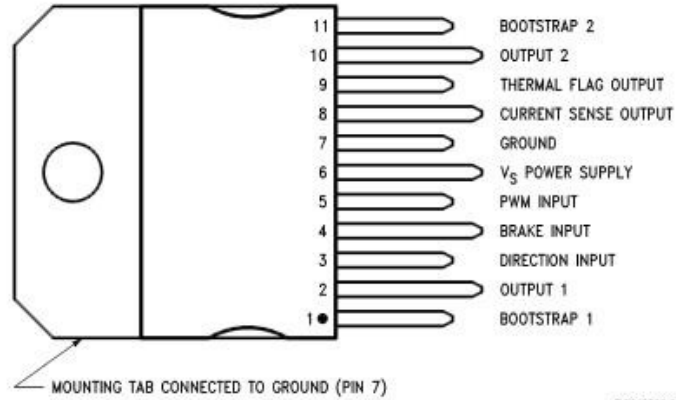


The diagram shows the internal architecture of the LMD18200. It includes an input logic block with pins for DIRECTION (3), BRAKE (4), and PWM (5). A thermal sensing block (pin 9) handles thermal sensing, undervoltage lockout, and overcurrent detection, leading to a shutdown signal. A current sensing block (pin 8) is used for output current monitoring. The H-bridge consists of four MOSFETs with bootstrap drivers (pins 1 and 11) and two charge pump drives. The output pins are THERMAL FLAG OUTPUT (9), BOOTSTRAP 1 (1), OUTPUT 1 (2), V_S (6), OUTPUT 2 (10), and BOOTSTRAP 2 (11). Pin 7 is GROUND. Pin 8 is CURRENT SENSE OUTPUT.

DS010568-1

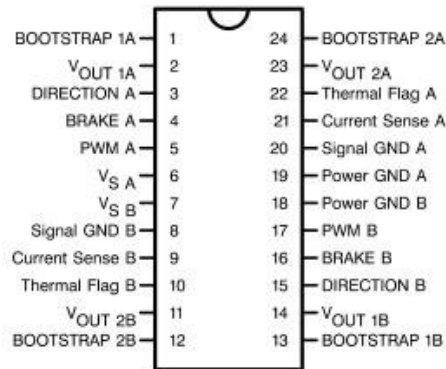
LMD18200

Connection Diagrams and Ordering Information



DS010568-2

**11-Lead TO-220 Package
Top View
Order Number LMD18200T
See NS Package TA11B**



DS010568-25

**24-Lead Dual-in-Line Package
Top View
Order Number LMD18200-2D-QV
5962-9232501VXA
LMD18200-2D/883
5962-9232501MXA
See NS Package DA24B**



LMD18200

Absolute Maximum Ratings (Note 1)		Power Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$, Free Air)	3W		
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.		Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$	150°C		
Total Supply Voltage (V_S , Pin 6)	60V	ESD Susceptibility (Note 4)	1500V		
Voltage at Pins 3, 4, 5, 8 and 9	12V	Storage Temperature, T_{STG}	-40°C to +150°C		
Voltage at Bootstrap Pins (Pins 1 and 11)	$V_{\text{OUT}} + 16\text{V}$	Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	300°C		
Peak Output Current (200 ms)	6A	Operating Ratings (Note 1)			
Continuous Output Current (Note 2)	3A	Junction Temperature, T_J	-40°C to +125°C		
Power Dissipation (Note 3)	25W	V_S Supply Voltage	+12V to +55V		
Electrical Characteristics (Note 5)					
The following specifications apply for $V_S = 42\text{V}$, unless otherwise specified. Boldface limits apply over the entire operating temperature range, $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, all other limits are for $T_A = T_J = 25^\circ\text{C}$.					
Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Limit	Units
$R_{\text{DS(ON)}}$	Switch ON Resistance	Output Current = 3A (Note 6)	0.33	0.4/0.6	Ω (max)
$R_{\text{DS(ON)}}$	Switch ON Resistance	Output Current = 6A (Note 6)	0.33	0.4/0.6	Ω (max)
V_{CLAMP}	Clamp Diode Forward Drop	Clamp Current = 3A (Note 6)	1.2	1.5	V (max)
V_{IL}	Logic Low Input Voltage	Pins 3, 4, 5		-0.1	V (min)
				0.8	V (max)
I_{IL}	Logic Low Input Current	$V_{\text{IN}} = -0.1\text{V}$, Pins = 3, 4, 5		-10	μA (max)
V_{IH}	Logic High Input Voltage	Pins 3, 4, 5		2	V (min)
				12	V (max)
I_{IH}	Logic High Input Current	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$, Pins = 3, 4, 5		10	μA (max)
	Current Sense Output	$I_{\text{OUT}} = 1\text{A}$ (Note 8)	377	325/300	μA (min)
				425/450	μA (max)
	Current Sense Linearity	$1\text{A} \leq I_{\text{OUT}} \leq 3\text{A}$ (Note 7)	± 6	± 9	%
	Undervoltage Lockout	Outputs turn OFF		9	V (min)
				11	V (max)
T_{JW}	Warning Flag Temperature	Pin 9 $\leq 0.8\text{V}$, $I_L = 2\text{mA}$	145		$^\circ\text{C}$
$V_{\text{F(ON)}}$	Flag Output Saturation Voltage	$T_J = T_{\text{JW}}$, $I_L = 2\text{mA}$	0.15		V
$I_{\text{F(OFF)}}$	Flag Output Leakage	$V_{\text{F}} = 12\text{V}$	0.2	10	μA (max)
T_{JSD}	Shutdown Temperature	Outputs Turn OFF	170		$^\circ\text{C}$
I_{S}	Quiescent Supply Current	All Logic Inputs Low	13	25	mA (max)
t_{Den}	Output Turn-On Delay Time	Sourcing Outputs, $I_{\text{OUT}} = 3\text{A}$	300		ns
		Sinking Outputs, $I_{\text{OUT}} = 3\text{A}$	300		ns
t_{on}	Output Turn-On Switching Time	Bootstrap Capacitor = 10 nF			
		Sourcing Outputs, $I_{\text{OUT}} = 3\text{A}$	100		ns
		Sinking Outputs, $I_{\text{OUT}} = 3\text{A}$	80		ns
t_{Doff}	Output Turn-Off Delay Times	Sourcing Outputs, $I_{\text{OUT}} = 3\text{A}$	200		ns
		Sinking Outputs, $I_{\text{OUT}} = 3\text{A}$	200		ns
t_{off}	Output Turn-Off Switching Times	Bootstrap Capacitor = 10 nF			
		Sourcing Outputs, $I_{\text{OUT}} = 3\text{A}$	75		ns
		Sinking Outputs, $I_{\text{OUT}} = 3\text{A}$	70		ns
t_{pw}	Minimum Input Pulse Width	Pins 3, 4 and 5	1		μs
t_{cpr}	Charge Pump Rise Time	No Bootstrap Capacitor	20		μs



LMD18200

Pinout Description

(See Connection Diagram) (Continued)

Pin 6, V_s Power Supply

Pin 7, GROUND Connection: This pin is the ground return, and is internally connected to the mounting tab.

Pin 8, CURRENT SENSE Output: This pin provides the sourcing current sensing output signal, which is typically 377 $\mu A/A$.

Pin 9, THERMAL FLAG Output: This pin provides the thermal warning flag output signal. Pin 9 becomes active-low at 145°C (junction temperature). However the chip will not shut itself down until 170°C is reached at the junction.

Pin 10, OUTPUT 2: Half H-bridge number 2 output.

Pin 11, BOOTSTRAP 2 Input: Bootstrap capacitor pin for Half H-bridge number 2. The recommended capacitor (10 nF) is connected between pins 10 and 11.

TABLE 1. Logic Truth Table

PWM	Dir	Brake	Active Output Drivers
H	H	L	Source 1, Sink 2
H	L	L	Sink 1, Source 2
L	X	L	Source 1, Source 2
H	H	H	Source 1, Source 2
H	L	H	Sink 1, Sink 2
L	X	H	NONE

Application Information

TYPES OF PWM SIGNALS

The LMD18200 readily interfaces with different forms of PWM signals. Use of the part with two of the more popular forms of PWM is described in the following paragraphs.

Simple, locked anti-phase PWM consists of a single, variable duty-cycle signal in which is encoded both direction and amplitude information (see Figure 2). A 50% duty-cycle PWM signal represents zero drive, since the net value of voltage (integrated over one period) delivered to the load is zero. For the LMD18200, the PWM signal drives the direction input (pin 3) and the PWM input (pin 5) is tied to logic high.

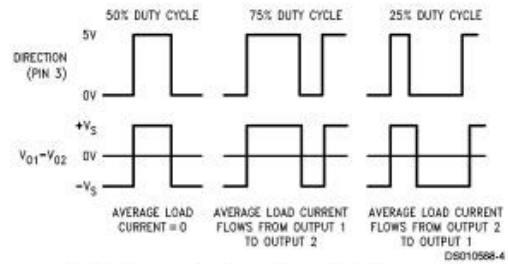


FIGURE 2. Locked Anti-Phase PWM Control

Sign/magnitude PWM consists of separate direction (sign) and amplitude (magnitude) signals (see Figure 3). The (absolute) magnitude signal is duty-cycle modulated, and the absence of a pulse signal (a continuous logic low level) represents zero drive. Current delivered to the load is proportional to pulse width. For the LMD18200, the DIRECTION input (pin 3) is driven by the sign signal and the PWM input (pin 5) is driven by the magnitude signal.

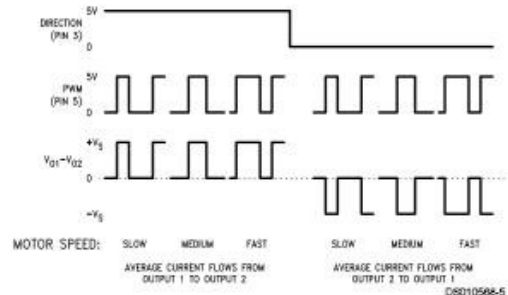


FIGURE 3. Sign/Magnitude PWM Control

SIGNAL TRANSITION REQUIREMENTS

To ensure proper internal logic performance, it is good practice to avoid aligning the falling and rising edges of input signals. A delay of at least 1 μsec should be incorporated between transitions of the Direction, Brake, and/or PWM input signals. A conservative approach is to be sure there is at least 500ns delay between the end of the first transition and the beginning of the second transition. See Figure 4.