



Título: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FLOTA DE MICROROBOTS –
DISEÑO ELECTRÓNICO

Autor: Luis Carlos Jiménez Sánchez

Tutor: Dr. Arturo de la Escalera Hueso

EL TRIBUNAL

Presidente: David Martin Gómez

Vocal: Beatriz López Boada

Secretario: Fernando García Fernández

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 29 de Junio de 2012 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



Agradecimientos

Agradezco a mi tutor Arturo de la Escalera haberme permitido realizar este proyecto, y su dedicación sobre todo en los últimos momentos de su realización donde los tiempos de realización empezaban a presionar.

Como no, dar las gracias a mi familia por el apoyo recibido en estos años de carrera, sin ellos no podría haberla sacado adelante.



Resumen

El principal objetivo de este proyecto es el diseño y construcción de una flota de diez microrobots como plataforma para la docencia en la programación de microcontroladores.

Para ello se ha dividido el diseño y construcción en dos proyectos diferentes, una parte dedicada a la mecánica y otra la electrónica que es sobre la que se centra este proyecto.

Para llevar a cabo el diseño de la electrónica de nuestro microrobot se realiza un estudio previo sobre los robots precedentes hasta el momento, y finalmente se decide montar dos placas, una encargada del control y otra para la potencia y polarización de sensores.

En el apartado locomotor se opta por un método de desplazamiento simple pero efectivo, basado en dos ruedas motrices y una rueda loca, accionadas por unos servomotores de modelismo modificados para dar vueltas completas.

En cuanto a la sensorización, se intenta que tenga una gran capacidad, para aportarle una mayor flexibilidad a la hora de programar diversas funciones, montando sensores de luz, ultrasonidos, infrarrojos y de contacto.

Posteriormente se procede al diseño y construcción de un primer prototipo de pruebas, para el diseño electrónico se opta un programa de software libre, Kicad, un potente programa que permite diseñar desde los esquemas eléctricos hasta las PCBs y los Gerbers.

Finalmente se hacen pequeñas modificaciones electrónicas sobre el primer prototipo y se procede a construir y probar el resto de los robots.

Palabras clave: Microrobot, Kicad, Gerber, PCB, electrónica, diseño, sensores, microcontrolador



Abstract

The main objective of this project is the design and construction of a fleet of ten microbots as a platform for teaching microcontroller programming.

This has split the design and construction in two different projects, a section on the mechanics and other electronics that is focusing on this project.

To carry out the design of the electronics of our microrobot is performed a preliminary study on the robots record so far, and finally decided to fit two plates, one for control and another for power and polarization sensors.

In paragraph locomotor method you opt for a simple but effective displacement, based on two-wheel drive and a loose wheel, driven by a servo modified to modeling full turns.

As for sensing, we try to have a great capacity to bring you greater flexibility to program different functions, riding light sensors, ultrasonic, infrared and contact.

Then proceed to the design and construction of a test prototype for the electronic design you choose a free software program, Kicad, a powerful program that allows you to design from the wiring diagrams to the PCBs and the Gerbers.

Finally, minor modifications are made on the first prototype electronic and proceeds to build and test the rest of the robots.

Keywords: Microbot, Kicad, Gerber, PCB, electronics, design, sensors, microcontroller



Índice general

Agradecimientos	III
Resumen	IV
Abstract	V
Índice general	VI
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
CAPÍTULO1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.3 ESPECIFICACIONES DE LOS DISEÑOS.....	2
1.4 FASES DEL DESARROLLO.....	2
1.5 MEDIOS EMPLEADOS	3
1.6 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	3
CAPÍTULO2 ESTADO DEL ARTE.....	4
2.1 HISTORIA DE LA ROBÓTICA	5
2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS	10
2.3 LA ROBÓTICA EN LA ACTUALIDAD.....	13
2.4 MICROROBÓTICA	14
2.5 SKYBOT Y MINISKYBOT.....	15
CAPÍTULO3 HARDWARE	17
3.1 ELECCIÓN DE LA ESTRUCTURA HARDWARE	18
3.2 PLACA DE CONTROL	19
3.2.1 <i>Características técnicas</i>	20
3.2.2 <i>Jumpers de configuración:</i>	25
3.3 PLACA DE POTENCIA Y POLARIZACIÓN DE LOS SENSORES	27
3.3.1 <i>Características técnicas</i>	28
CAPÍTULO4 SISTEMA SENSORIAL	36
4.1 POSICIÓN DE LOS SENSORES	37
4.2 BUMPERS.....	38
4.3 SENSORES INFRARROJOS.....	40
4.4 SENSORES DE LUZ.....	42
4.5 SENSORES DE ULTRASONIDO.....	44
CAPÍTULO5 SISTEMA LOCOMOTOR	48
5.1 ELECCIÓN DE SISTEMA LOCOMOTOR.....	49
5.2 MODIFICACIÓN DE LOS SERVOMOTORES	50



CAPÍTULO6	PRESUPUESTO	53
6.1	COSTES DE EJECUCIÓN MATERIAL.....	54
6.1.1	<i>Costes por material electrónico</i>	<i>54</i>
6.1.2	<i>Costes por material de laboratorio</i>	<i>54</i>
6.1.3	<i>Costes por material Software</i>	<i>54</i>
6.1.4	<i>Costes por material Hardware.....</i>	<i>55</i>
6.1.5	<i>Coste por tiempo empleado.....</i>	<i>55</i>
6.1.6	<i>Coste total de presupuesto de ejecución</i>	<i>55</i>
6.2	HONORARIOS DE REDACCIÓN.....	55
6.3	IMPORTE TOTAL DEL PRESUPUESTO	56
CAPÍTULO7	REFERENCIAS	57
CAPÍTULO8	ANEXOS	59
8.1	ESQUEMAS ELÉCTRICO	60
8.2	GERBERS	62
8.3	HOJAS DE CARACTERÍSTICAS	64

Índice de figuras

FIGURA 1 PÁJAROS DE HERÓN	5
FIGURA 2 GALLO DE ESTRASBURGO	6
FIGURA 3 PATO DE VAUCANSON.....	7
FIGURA 4 TURCO DE VAUCANSON	8
FIGURA 5 TALLER DE JACQUARD	8
FIGURA 6 ROBOT ASIMO DE HONDA Y RH-1.....	11
FIGURA 7 ROBOTS ZOOMORFICOS.....	11
FIGURA 8 ROBOTS POLIARTICULADOS	12
FIGURA 9 ROBOT INDUSTRIAL	12
FIGURA 10 ROBOTS DE SERVICIO	13
FIGURA 11 ROBOT DA VINCI.....	14
FIGURA 12 SKYBOT.....	15
FIGURA 13 ROBOT TRITT	15
FIGURA 14 MINISKYBOT.....	16
FIGURA 15 ESQUEMA DE CONEXIÓN GENERAL.....	18
FIGURA 16 CONEXIONES PLACA DE CONTROL.....	19
FIGURA 17 ESQUEMA PUERTOS PROGRAMACION, A, B Y C	20
FIGURA 18 ESQUEMA DE CONEXION DE LOS SERVOS.....	21
FIGURA 19 ESQUEMA CIRCUITOS DE RESET	21
FIGURA 20 ESQUEMA CONEXION PULSADOR DE PRUEBAS	22
FIGURA 21 ESQUEMA CONEXION LED DE PRUEBAS	22
FIGURA 22 ESQUEMA ALIMENTACION DE LA PLACA DE CONTROL.....	23
FIGURA 23 CONEXION SERIE	23
FIGURA 24 ESQUEMA CONEXION CON EL PC.....	24
FIGURA 25 ESQUEMA CONEXION CON EL PUETO ICD2.....	25
FIGURA 26 POSICION DE LOS JUMPERS	25
FIGURA 27 CONEXIONES Y JUMPERS DE LA PLACA DE POTENCIA	27
FIGURA 28 PINES DE LOS PUERTOS A Y B	28
FIGURA 29 ESQUEMA DE CONEXION DEL PUERTO A.....	29
FIGURA 30 ESQUEMA DE CONEXION DE LOS DRIVER DE LOS MOTORES.....	31
FIGURA 31 PATILLAJE DE LOS PUERTOS DE LOS SENSORES INFRARROJOS.....	32
FIGURA 32 ESQUEMA UNITARIO DE CONEXION DEL SENSOR CNY70.....	33
FIGURA 33 GRAFICAS DE COMPORTAMIENTO DEL TRIGGER SCHMITH	33
FIGURA 34 ESQUEMA DE CONEXIONADO GENERAL DE LOS SENSORES INFRARROJOS	34
FIGURA 35 ESQUEMA DE CONEXION DEL RELÉ	35
FIGURA 36 POSICION DE LOS SENSORES	37
FIGURA 37 BUMPER	38
FIGURA 38 BUMPERS SIN CONECTOR.....	38
FIGURA 39 BUMPERS CON CABLES SOLDADOS	40
FIGURA 40 DETALLE DE LA POSICION DE LOS BUMPERS.....	40
FIGURA 41 VISTA EXTERNA Y CIRCUITOS INTERNOS DEL SENSOR CNY70.....	40



FIGURA 42 DIFERENTES POSIBILIDADES DE MONTAJE DEL CNY70	41
FIGURA 43 DETALLE DE LA CONEXION DE LOS SENSORES CNY70	41
FIGURA 44 FOTO Y SÍMBOLO DE UNA LDR	42
FIGURA 45 GRAFICA RESISTENCIA VS ILUMINACION EN UNA LDR.....	43
FIGURA 46 DETALLE DE LA COLOCACION DE LAS LDR.....	44
FIGURA 47 SENSOR DE ULTRASONIDOS SFR05	44
FIGURA 48 DIAGRAMA DE TIEMPOS DEL SFR05 EN MODO 1.....	45
FIGURA 49 DIAGRAMA DE TIEMPOS DEL SFR05 EN MODO 2.....	46
FIGURA 50 CONEXIONES DEL SENSOR SFR05	47
FIGURA 51 TIPOS DE TRACCION EN ROBOTS	50
FIGURA 52 DESMONTAJE DEL SERVO	51
FIGURA 53 EXTRACCION DE LA ELECTRONICA Y SOLDADURA DE LOS NUEVOS CONDUCTORES	51
FIGURA 54 MODIFICACION DE EL PIÑON	52
FIGURA 55 MONTAJE DEL SERVO YA MODIFICADO	52



Índice de tablas

TABLA 1 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS SEGÚN LA AFRI.....	10
TABLA 2 TABLA DE ASIGNACIÓN DE PUERTOS DEL PIC.....	20
TABLA 3 FUNCIÓN DE LOS JUMPERS	26
TABLA 4 ASIGNACIÓN DE PINES LOS PUERTOS DE LOS PUERTOS A Y B.....	28
TABLA 5 ASIGNACIÓN DE PINES DEL CHIP L293D.....	30
TABLA 6 ASIGNACIÓN DE LOS PINES DE LOS PUERTOS DE LOS SENSORES INFRARROJOS	32
TABLA 7 CONEXIONES DEL SENSOR SFR05	47



Capítulo 1

Introducción y objetivos

1.1 Introducción

El proyecto responde a la obtención y uso de un combinado hardware/software para experimentación, basado en un micro-robot, que sirve como plataforma de ayuda a la docencia teórico-práctica y al desarrollo de proyectos de iniciación a la investigación. Este entorno está especialmente ideado como plataforma para experiencias en desarrollo de sistemas hardware programables y reconfigurables por el usuario, o bien localmente o a través de los módulos de comunicaciones digitales que incorpora, así como para el desarrollo de algoritmos software de control inteligente, ejecutados en el micro-robot o en un computador remoto, y que impliquen el uso de otros sensores de cierta complejidad.

El gran avance continuado de la tecnología de circuitos integrados, y la consecuente miniaturización y abaratamiento de los componentes integrados complejos ha propiciado la disponibilidad y uso extendido de los micro-controladores, con prestaciones y coste limitados respecto de los microcomputadores de propósito general, pero que con un mínimo número de circuitos adicionales proporcionan soluciones completas a sistemas electrónicos que controlan multitud de los objetos que nos rodean, tales como periféricos de ordenadores (digitalizadores, ratones, etc.), electrodomésticos, sistemas de vigilancia, subsistemas incorporados en automóviles, etc.

Para la enseñanza de la arquitectura y programación de microcontroladores, del desarrollo de sistemas digitales basados en microcontroladores, así como para la impartición de materias relativas a control inteligente, se ha extendido el uso de los microrobots como una potente herramienta docente, mucho más atractiva para los estudiantes que las tradicionales tarjetas entrenadoras. Su empleo como demostrador en las diversas asignaturas relacionadas explota el incentivo y carácter motivador que tienen los microrobots para los estudiantes, como ha quedado manifiesto en la implicación de éstos en el desarrollo de nuevas experiencias prácticas en distintos centros de formación.

1.2 Objetivos

El principal objetivo de este proyecto es el diseño y construcción de una flota de diez microrobots como plataforma para la docencia en materia de programación de microcontroladores.

Especialmente se quiere diseñar un robot con una gran capacidad de sensorización y que la electrónica que monte este sea flexible a la hora de introducir cambios, como puede ser montar otra clase de sensores o utilizar las placas en diversas aplicaciones

Para llevar a cabo este desarrollo se marca como objetivo el uso de herramientas de software libre para el diseño electrónico y mecánico, como Kicad en el caso de la electrónica en la que se centra este proyecto.

1.3 Especificaciones de los diseños

Todos los diseños de este proyecto se realizarán acorde a las especificaciones que enumeramos a continuación:

- **Robustez:** El conjunto diseñado ha de soportar vibraciones provocadas por el movimiento del robot.
- **Flexibilidad y versatilidad:** Las placas han de diseñarse teniendo en cuenta la posibilidad de que en un futuro pueda sufrir modificaciones.
- **Fabricación simple y económica:** Tanto la electrónica como la mecánica deben diseñarse teniendo en cuenta su fabricación, la cual debe ser simple y lo más económica posible.
- **Restricciones de tamaño:** El tamaño de las placas se tiene que adaptar a un tamaño determinada que viene limitado por el método de construcción de la estructura del robot, ya que la impresora que las hace no puede hacer piezas de más de 8 cm.

1.4 Fases del desarrollo

El proyecto se desarrolla en varias fases:

- Estudio de microrobots ya existentes
- Estudio de posibles sensorizaciones para el robot
- Diseño del prototipo de las placas de control y potencia
- Construcción y prueba de el primer prototipo
- Diseño de pequeñas modificaciones en las placas
- Construcción de la flota de microrobots

1.5 Medios empleados

Un instrumento esencial en el desarrollo de este proyecto ha sido el ordenador, ya que si este no se podría haber llevado a cabo, siendo necesario la herramienta software libre Kicad para todo el diseño electrónico de nuestro microrobot.

También he tenido a mi disposición el laboratorio del departamento de ingeniería de sistemas y automática, donde podía tener acceso al material necesario para la construcción de las placas como soldador, polímetro, estaño y demás instrumentos necesarios para la fabricación de este.

1.6 Estructura de la memoria

Para facilitar la lectura de la memoria, se incluye a continuación un breve resumen de los capítulos de los que se compone:

- **Capítulo1: Introducción y objetivos.** Se explica en que consiste el proyecto y se exponen los motivos y objetivos del mismo.
- **Capítulo 2: Estado del arte.** En este capítulo se habla sobre la robótica. Se habla de su historia, se hace una descripción de las maneras de clasificar los diferentes robots y se comenta la situación de la robótica en la actualidad. Además se mencionan los microrobots Skybot y MiniSkybot.
- **Capítulo3: Hardware.** Desarrollo de las características de las placas de control y potencia del microrobot
- **Capítulo4: Sensorización.** Se detallan la posición de los sensores en la estructura del microrobot y las características de cada uno de los sensores que monta.
- **Capítulo5: Sistema locomotor.** descripción del sistema elegido para el movimiento del motor y las modificaciones necesarias para nuestras necesidades.
- **Capítulo6: Presupuesto.** Desglose del coste que ha supuesto todo el proyecto, desde los costes de los materiales para la fabricación, como su diseño y posterior montaje
- **Capítulo7: Referencias:** Se enumeran los libros, proyectos y páginas Web que se han consultado para la realización del proyecto.
- **Capítulo8: Anexos.** Se muestran los esquemas y planos eléctricos de las placas del microrobot, además de las hojas de características de los componentes que se mencionan en el proyecto



Capítulo 2

Estado del arte

2.1 Historia de la robótica

La necesidad creciente de la población de facilitar las tareas diarias o hacer posible la realización de algunas demasiado arduas, generó el nacimiento de lo que hoy en día se conoce como robótica.

En un principio, las tareas que se suplían con la utilización de “artefactos” eran tareas repetitivas como dispensadores automáticos de agua para beber o lavarse. Estos artefactos son los llamados autómatas, palabra que viene del término “automatos” que significa “que se mueven por sí mismos”. [1]

Sin embargo, no todos los autómatas tenían como fin ayudar a las personas en estas tareas, sino que muchos de ellos servían como mero entretenimiento, realizando movimientos repetitivos o emitiendo sonidos.

Los primeros autómatas se registran en la antigua Etiopía. En el año 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.

King-su Tse, en China, en el 500 a. C. inventa una urraca voladora de madera y bambú y un caballo de madera que saltaba. Entre el 400 y 397 a. C., Arkitas de Tarento, que es el inventor del tornillo y la polea, construye un pichón de madera suspendido de un pivote, el cual rotaba con un surtidor de agua o vapor, simulando el vuelo. En el año 206 a. C., fue encontrado el tesoro de Chin Shih Hueng Ti consistente en una orquesta mecánica de muñecos, encontrada por el primer emperador Han. [2]

En el año 62 Heron de Alejandría describe múltiples aparatos en su libro "Autómata". Entre ellos aves que vuelan, gorjean y beben. Además, describe algunos como un molino de viento para accionar un órgano o un precursor de la turbina de vapor.

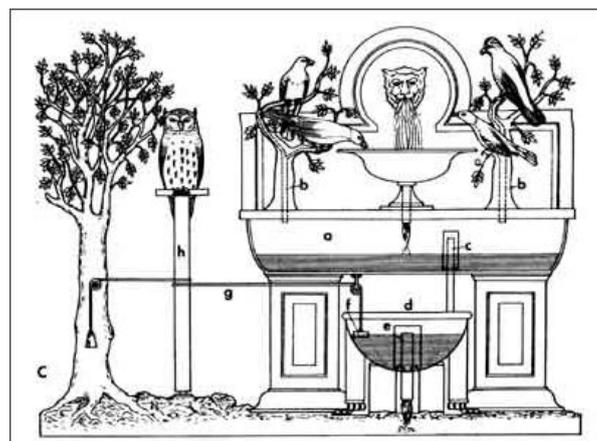


Figura 1 Pájaros de Herón

En Roma existía la costumbre de hacer funcionar juguetes automáticos para deleitar a los huéspedes.

La cultura árabe, heredó y difundió los conocimientos griegos, utilizándolos no solo para realizar mecanismos destinados a la diversión, sino que les dieron una aplicación práctica, introduciéndolos en la vida cotidiana de la realeza. Ejemplos de estos son diversos sistemas dispensadores automáticos de agua para beber o lavarse.

Algunas referencias poco documentadas del pasado hablan de autómatas como el Hombre de Hierro (Alberto Magno 1204-1282) o la Cabeza Parlante (Roger Bacon 1214-1294). En 1235, Villard d'Honnecourt escribe un libro con bocetos que incluyen secciones de dispositivos mecánicos, como un ángel autómatas, e indicaciones para la construcción de figuras humanas y animales.

Pero el autómatas más antiguo que se conserva en la actualidad data de 1352, el Gallo de Estrasburgo, formaba parte del reloj de la torre de la catedral y funcionó entre 1352 y 1789. Este movía las horas y el pico al dar las horas.

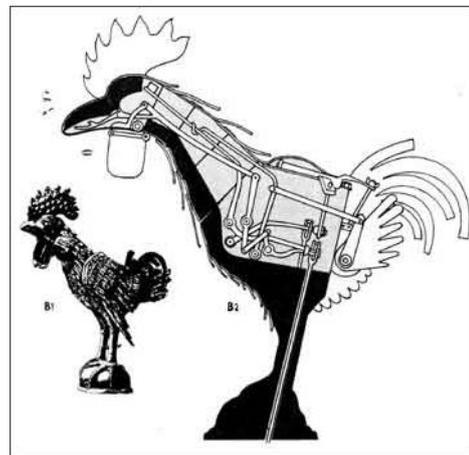


Figura 2 Gallo de Estrasburgo

En 1515, Leonardo Da Vinci construyó un león mecánico para el rey Francisco I de Francia. Este podía moverse por sí solo y disponían de un mecanismo que permitía dejar caer flores de lis. Se dice que este autómatas fue encargado por la comunidad de Florencia en Lyon para celebrar una nueva alianza entre la ciudad italiana y Francia aunque también se dice que fue por el papa León X (un Medici al igual que el gobernador de Florencia) para agasajar al recién coronado rey de Francia. [3] [4] [5]

En España es conocido el hombre de palo construido por Juanelo Turriano en el siglo XVI para el emperador Carlos V. Este autómatas con forma de moje, andaba y movía la cabeza, ojos, boca y brazos.

Durante los siglos XVII y XVIII se crearon ingenios mecánicos que tenían alguna de las características de los robots actuales. Estos dispositivos fueron creados en su mayoría por artesanos del gremio de la relojería. Su misión principal era la de entretener a las gentes de la corte y servir de atracción a las ferias. Así, en 1649, cuando Luis XIV era niño, un artesano llamado Camus (1576-1626) construyó para él un coche en miniatura con sus caballos, sus lacayos y una dama dentro y todas las figuras se podían mover perfectamente. Salomón de Camus también construyó fuentes ornamentales y jardines placenteros, pájaros cantarines e imitaciones de los efectos de la naturaleza.

Según P. Labat, el general de Gennes construyó en 1688 un pavo real que caminaba y comía. Este ingenio pudo servir de inspiración a Jacques de Vaucanson (1709-1782) para construir su increíble pato mecánico que fue la admiración de toda Europa. Según Sir David Brewster en un escrito de 1868, lo describe diciendo que es "la pieza mecánica más maravillosa que se haya hecho".

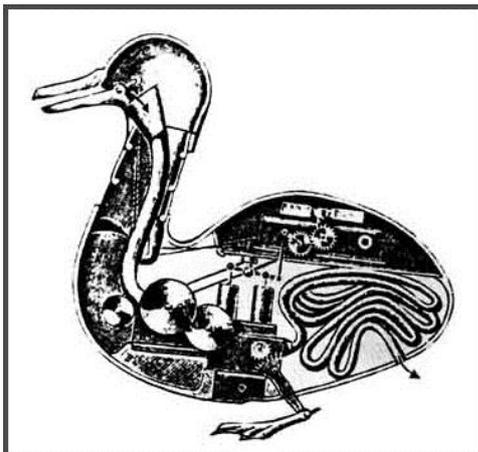


Figura 3 Pato de Vaucanson

El pato alargaba su cuello para tomar el grano de la mano y luego lo tragaba y lo digería. podía beber, chapotear y graznar, y también imitaba los gestos que hace un pato cuando traga con precipitación. Los alimentos los digería por disolución y se conducía por unos tubos hacia el ano, donde había un esfínter que permitía evacuarlos.

Vaucanson también construyó varios muñecos animados, entre los que destaca un flautista capaz de tocar melodías. El ingenio consistía en un complejo mecanismo de aire que causaba el movimiento de dedos y labios, como el funcionamiento normal de una flauta. Por instigación de Luis XV, intentó construir un modelo con corazón, venas y arterias, pero murió antes de poder terminar esta tarea. Además de muchos objetos útiles para la industria como una silla para los tejedores. [2]

En 1769, Wolfgang Von Kempelen (científico eslovaco) creó “El turco” un supuesto autómatas que jugaba al ajedrez. Este dio su primera exhibición ante la emperatriz M^a Teresa de Austria, sin que nadie entendiese como funcionaba. La máquina era una gran caja, que si se abría solo dejaba a la vista multitud de cables y mecanismos.

El muñeco que aparecía sentado ante el tablero lucía un turbante y coloridos ropajes de seda, además tenía un brazo extensible que movía las piezas. Su funcionamiento consistía en que dentro de la máquina había un jugador que movía las fichas.

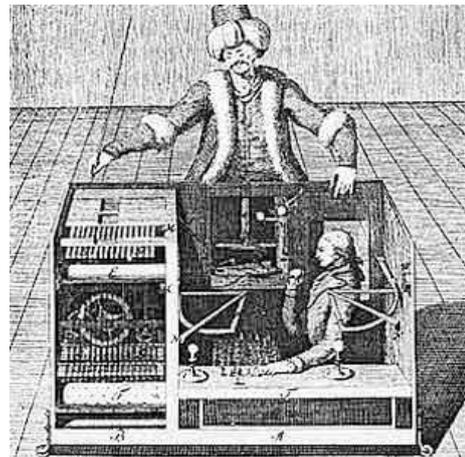


Figura 4 Turco de Vaucanson

A finales del siglo XVIII y principios del XIX se desarrollaron algunas ingeniosas invenciones mecánicas, utilizadas fundamentalmente en la industria textil, entre las que destacan la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico de Cartwright (1785) y el telar de Jacquard (1801).

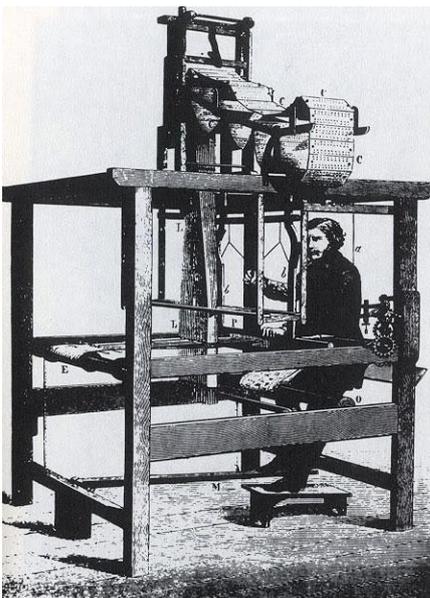


Figura 5 Taller de Jacquard

Jacquard basándose en los trabajos de Bouchon (1725), Falcon (1728) y del propio Vaucanson (1745), fue el primero en aplicar las tarjetas perforadas como soporte de un programa de trabajo, es decir, eligiendo un conjunto de tarjetas, se definía el tipo de tejido que se desea realizar. Estas máquinas constituyeron los primeros precedentes históricos de las máquinas de control numérico.

En 1921, fue utilizada por primera vez la palabra robot, cuando el escritor Karen Capek (1890-1930) estrena en el teatro nacional de Praga su obra “Rossum's Universal Robots (R.U.R.)”. Pero no fue el quien invento este término, Karel lo atribuye a su hermano Josef Capek, el cual se lo sugirió cuando le pidió ayuda para denominar a los trabajadores artificiales de su novela. [6]

El termino robótica fue acunado por el escritor de ciencia ficción Isaac Asimov en una de sus novelas sobre robots. Otra aportación del escritor a esta disciplina son las Tres Leyes de la robótica; muy bien encaminadas teniendo en cuenta que las creo mucho antes de que los robots fueran una realidad. Asimov explicaba que las Tres Leyes fueron creadas por John W. Campbell, en una conversación que mantuvieron ambos. Sin embargo, Campbell sostiene que Asimov ya las tenia pensadas, y que simplemente las expresaron entre los dos de una manera mas formal. [7]

Primera Ley: Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.

Segunda Ley: Un robot debe obedecer las ordenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas ordenes entran en conflicto con la Primera Ley.

Tercera Ley: Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley.

Mas tarde, en 1985, en su novela “Robots e Imperio”, Asimov incorpora su cuarta ley, conocida como ley cero:

Ley Cero: Un robot no puede lastimar a la humanidad o, por la falta de acción, permitir que la humanidad sufra daños.

Aunque estos términos se crearon a principios del siglo XX, no fue hasta la década de los 50 cuando se desarrollaron los primeros robots, desarrollo en el cual intervienen diversos factores. La investigación en inteligencia artificial desarrollo maneras de emular el procesamiento de información humana con computadoras electrónicas e invento una variedad de mecanismos para probar sus teorías.

2.2 Clasificación de los robots

Desde el punto de vista histórico, los robots pueden dividirse en generaciones que presentan las siguientes características:

- Primera Generación: El robot repite la tarea programada secuencialmente. No toma en cuenta las posibles alteraciones en su entorno.
- Segunda Generación: Adquiere información limitada del entorno y actúa en consecuencia. Puede localizar, clasificar, detectar esfuerzos y adaptar sus movimientos a ellos.
- Tercera Generación: Su programación se realiza mediante el empleo del lenguaje natural. Posee capacidad para la planificación automática de tareas.

La Asociación Francesa de Robótica Industrial (AFRI) los clasifica de la siguiente manera:

Clasificación de los robots según la AFRI	
Tipo A	Manipulador con control manual o telemando.
Tipo B	Manipulador automático con ciclos pre ajustados; regulación mediante fines de carrera o topes; control por PLC; accionamiento neumático, eléctrico o hidráulico.
Tipo C	Robot programable con trayectoria continua o punto a punto. Carece de conocimiento sobre su entorno.
Tipo D	Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de estos

Tabla 1 Clasificación de los robots según la AFRI

Por su funcionamiento se puede distinguir entre: **Automáticos** o **Tele operados**.

Hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Tele-operación: Dispositivos robóticas con brazos manipuladores, sensores y cierto grado de movilidad controlados remotamente por un operador humano de manera directa o a graves de un ordenador.
- Tele-presencia: Existe una realimentación mecánica o por medio de un ordenador que permite al operador percibir las fuerzas (escaladas) realizadas por el esclavo.
- Autonomía: Los robots son capaces de tomar decisiones inteligentes en función de su estado, la información que percibe del entorno y la misión que tiene asignada. [8]

Según su arquitectura:

- **Androides:** son robots humanoides. Imitan el comportamiento del hombre. Su utilidad en la actualidad es de solo experimentación, pero se busca que en un futuro sean capaces de interactuar con las personas y de ayudarlas, haciéndonos la vida mas fácil y agradable. Algunos prototipos son tan cercanos como “Rh-1”, desarrollados por el Robotics Lab de la Universidad Carlos III de Madrid. O el conocido ASIMO de Honda.



Figura 6 Robot Asimo de Honda y Rh-1

- **Móviles:** se desplazan mediante una plataforma rodante clásica, que puede estar dotada de ruedas o de un sistema de orugas.

- **Zoomórficos:** emplean un sistema de locomoción diseñado imitando al de algunos animales. Suelen utilizarse en misiones de exploración o como juguetes.



Figura 7 Robots zoomorfcos

- **Poliarticulados:** mueven sus extremidades con pocos grados de libertad. Se utiliza principalmente en la industria.



Figura 8 Robots poliarticulados

Desde el punto de vista de su aplicación nos encontramos con 2 grandes grupos: **Industriales y de Servicio:**

Robots Industriales: Son aquellos destinados a la realización de tareas industriales. Tanto tareas repetitivas que supondrían una disminución con el paso del tiempo del rendimiento de una persona, como tareas difíciles y costosas o prácticamente imposibles de realizar por la mano del hombre. Como gran ejemplo del uso de estos robots se encuentra la industria automovilística.



Figura 9 Robot industrial

Robots de Servicio: Son aquellos que sirven de ayuda en las tareas diarias. Por ejemplo los robots de limpieza o los robots de asistencia a discapacitados como ASIBOT desarrollado por esta universidad. Los robots de atención al cliente, entre otros usos se puede destacar el de guía en museos, en ellos es muy importante la interacción con el ser humano, como ejemplos de esta interacción se encuentran MAGUI, desarrollado también por la UC3M o ASIMO, desarrollado por Honda.



Figura 10 Robots de servicio

2.3 La robótica en la actualidad

La evolución de la robótica esta tan patente que hoy en día el concepto de robot no es nada nuevo en la mente de las personas, aun más si cabe en las nuevas generaciones. El robot que habla, camina, baila y se le pueden programar secuencias de movimiento y grabar mensajes a repetir, o el robot que tiene la forma e imita las acciones de un perro, son artículos al alcance de muchas familias de clase media, impensables hace 50 años. Solo algunos eran capaces de soñar con ello, como ciertos escritores de ciencia ficción.

Pero, si se piensa en lo que se esperaba de la tecnología de hoy en día hace tan solo 30 años, los coches voladores, los viajes turísticos y colonias o ciudades en otros planetas, etc.... tan solo la robótica ha alcanzado un desarrollo mínimamente cercano a ello. Es decir, aunque todas estas visiones de futuro eran exageradas y demasiado optimistas, la robótica si ha conseguido aproximarse a ellas, lo que supone, como se viene diciendo en este apartado, que su evolución es realmente grande.

En la actualidad, los robots son usados para realizar desde tareas peligrosas y difíciles hasta operaciones repetitivas y aburridas que harían descender el rendimiento de cualquier 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 mas robots emplea en sus cadenas de montaje, en ellas, estos ingenios se encargan de remplazar a los humanos en tareas repetitivas tales como soldadura, manipulación y pintura, elevando el nivel de productividad de la planta y minimizando riesgos para los trabajadores.

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, desactivación de bombas, etc.

Hoy por hoy, existen o se están desarrollando vehículos auto pilotados, humanoides capaces de realizar tareas de un gran nivel de inteligencia o con una apariencia sorprendentemente parecida a la del ser humano, pudiendo incluso simular emociones. Los robots asistenciales están teniendo un gran desarrollo. Los robots de cirugía son un gran avance para dicha disciplina, pudiendo no solo realizar operaciones mas precisas, sino también permitir operar a expertos que han tenido que dejar de hacerlo.

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 de diferente instrumental y cámaras, que permiten al cirujano realizar intervenciones quirúrgicas de gran precisión minimizando los riesgos para el paciente. [9]



Figura 11 Robot da Vinci

2.4 Microrobótica

Uno de los principales campos de investigación que mas esta avanzando en los últimos años lo forman los microrobots. Estos ingenios están siendo desarrollados tanto por las universidades como por organismos gubernamentales y privados. Por poner un ejemplo, la NASA tiene un gran interés en el desarrollo de toda clase de microrobots, destinados en su caso a misiones espaciales de mantenimiento y exploración.

Hay que remarcar que un microrobot no se caracteriza por poseer un tamaño pequeño sino por estar diseñado para realizar simples de forma repetitiva, rápida y precisa. Si se ponen a trabajar varios microrobots en el mismo entorno de trabajo, colaboraran entre ellos para completar una tarea global sumando sus tareas simples.

Los microrobots suelen caracterizarse por ser móviles y autónomos, además, normalmente están preparados para tomar decisiones a partir de la información aportada por el sistema sensorial del que disponen, adaptándose al entorno de trabajo para funcionar de forma eficaz.

El termino Microrobótica se comienza a aplicar en la década de los 90 a raíz de unos experimentos con pequeños robots de programación muy sencilla. El experimento en sí consistía en encerrar estos pequeños robots en una habitación y distribuir trozos de vela esparcidos al azar por el suelo; los robots estaban programados para recoger las velas que encontrasen por su camino hasta el tope de su capacidad, una vez alcanzado ese tope las soltarían en un montón y volverían a iniciar su rutina de recogida. Al finalizar el experimento todas las velas estaban apiladas en el mismo montón, se había logrado que pequeños robots poco inteligentes programados para hacer una tarea repetitiva y sin conocimiento de la existencia de otros robots programados para la misma tarea y en el mismo entorno fuesen capaces de colaborar para realizar una tarea global. [10]

En los últimos años han surgido una serie de foros, certámenes y competiciones de microrobótica, que han logrado que se experimente un gran avance en esta rama gracias a la creación de un escenario común donde intercambiar técnicas y experiencias, a la vez que se motiva la investigación por medio de la competición. Las pruebas en estos eventos son muy variadas, ejemplos de ellas son las competiciones de sigue líneas, sumo, Robo cup y Eurobot, que año tras año ven aumentado su numero de participantes ante el gran interés que están generando.

2.5 Skybot y Miniskybot

Dos robots desarrollados y creados por el Dr. Juan González Gómez, ambos con software libre y toda la información está disponible para que cualquiera lo pueda estudiar, copiar, modificar y fabricar, etc.

Uno y otro robot pueden funcionar de una manera autónoma con la información que obtienen por sus sensores, o teleoperada a través de un ordenador

-Skybot.

El Skybot es una evolución del robot Tritt, que se desarrolló en 1997 para impartir talleres de robótica en la universidad Carlos III de Madrid. Más tarde este robot fue comercializado por la empresa Microrobótica S.L.[11]



Figura 12 Skybot



Figura 13 Robot Tritt

Características:

-Estructura mecánica: Piezas de metacrilato de 3mm pegadas

-Dos ruedas motrices: Actuadas por servos Futaba 3003 trucados para girar 360 grados

-Sensores:

- Hasta 4 sensores de infrarrojos CNY70 para detectar superficies blancas/negras,
- Hasta 6 sensores de contacto (bumpers)
- 1 sensor de luz

-Dimensiones: 16 x 11 x 10 cm. aprox. (largo)x(ancho)x(alto)

-Microprocesador: PIC16F876A (Tarjeta Skypic)

-Etapa de potencia: Chip 293 (Tarjeta Sky293)

-Alimentación: Entre 4.5-6v. Se usan 4 pilas de tipo AA. Opcionalmente se puede utilizar una alimentación separada para los motores, comprendida entre 4-12 voltios. (Por ejemplo una pila de 9v). Con ello se consigue más velocidad.

-MiniSkybot:

Robot mucho mas simple que el Skybot, con solo dos sensores de ultrasonidos en su parte delantera, y una tarjeta de control, también su estructura es imprimible.[12]

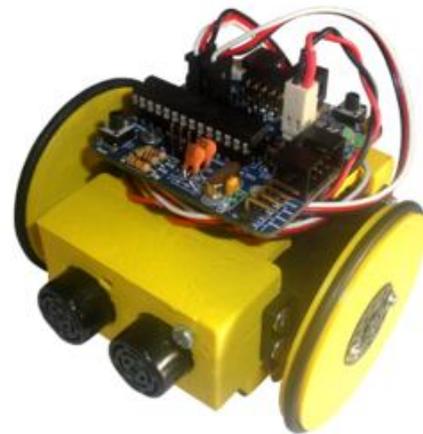


Figura 14 MiniSkybot

Características:

-Estructura mecánica: Piezas imprimibles, a disposición de cualquier persona.

-Dos ruedas motrices: Actuadas por servos Futaba 3003 trucados para girar 360 grados

-Sensores:

- Dos sensores de ultrasonidos SRF2

-Dimensiones: 9.3 x 8 x 7 cm. aprox. (largo)x(ancho)x(alto)

-Microprocesador: PIC16F876A (Placa skycube)

-Alimentación: Entre 4.5-6v. Se usan 4 pilas de tipo AA..



Capítulo 3

Hardware

3.1 Elección de la estructura Hardware

Debido al montaje de nuestro robot, el tamaño es un factor muy importante a tener en cuenta a la hora de plantearse el diseño de las placas electrónicas.

Tras el estudio de varias posibilidades se decidió por el desarrollo de un montaje en torre, aprovechando así espacio, de dos placas para el control y el movimiento del robot, estando estas conectadas mediante cables de bus, necesarios para las comunicaciones de datos y energía.

A continuación esta el esquema de conexionado general de placas y sensores

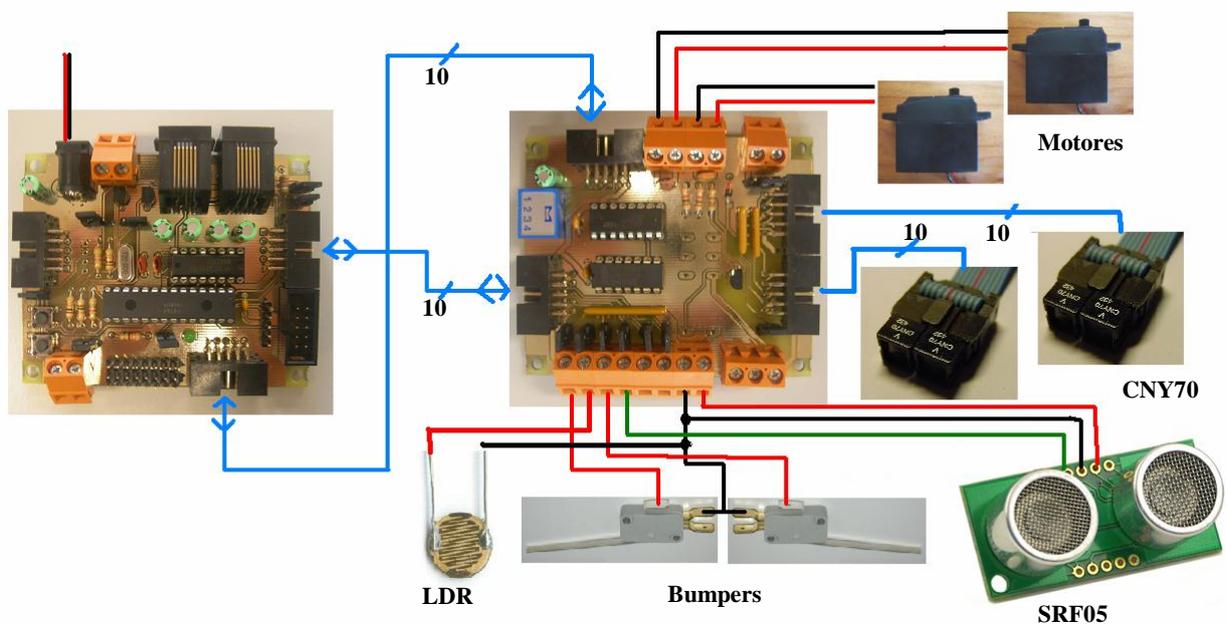


Figura 15 Esquema de conexión general

3.2 Placa de control

Esta placa es la encargada de tomar todas las decisiones del robot a través de los datos que recibe de la placa de potencia. En la siguiente figura se observan las distintas partes de la que consta la placa.

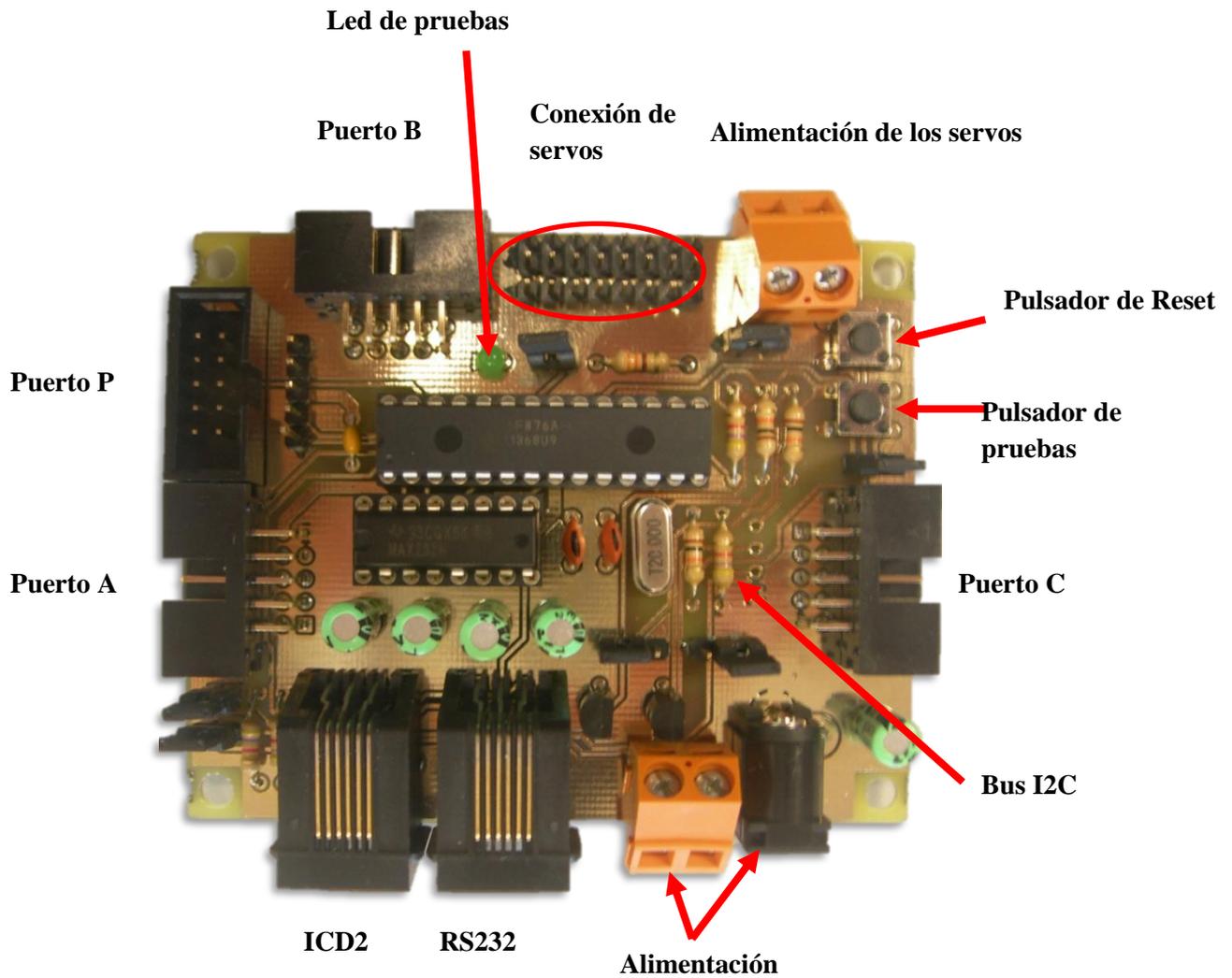


Figura 16 Conexiones placa de control

3.2.1 Características técnicas

Puertos: En total hay cuatro conectores acodados de 10 pines, los puertos A, B y C, se corresponden con los tres puertos existentes en el microcontrolador, el puerto P es un puerto auxiliar para la programación del micro.

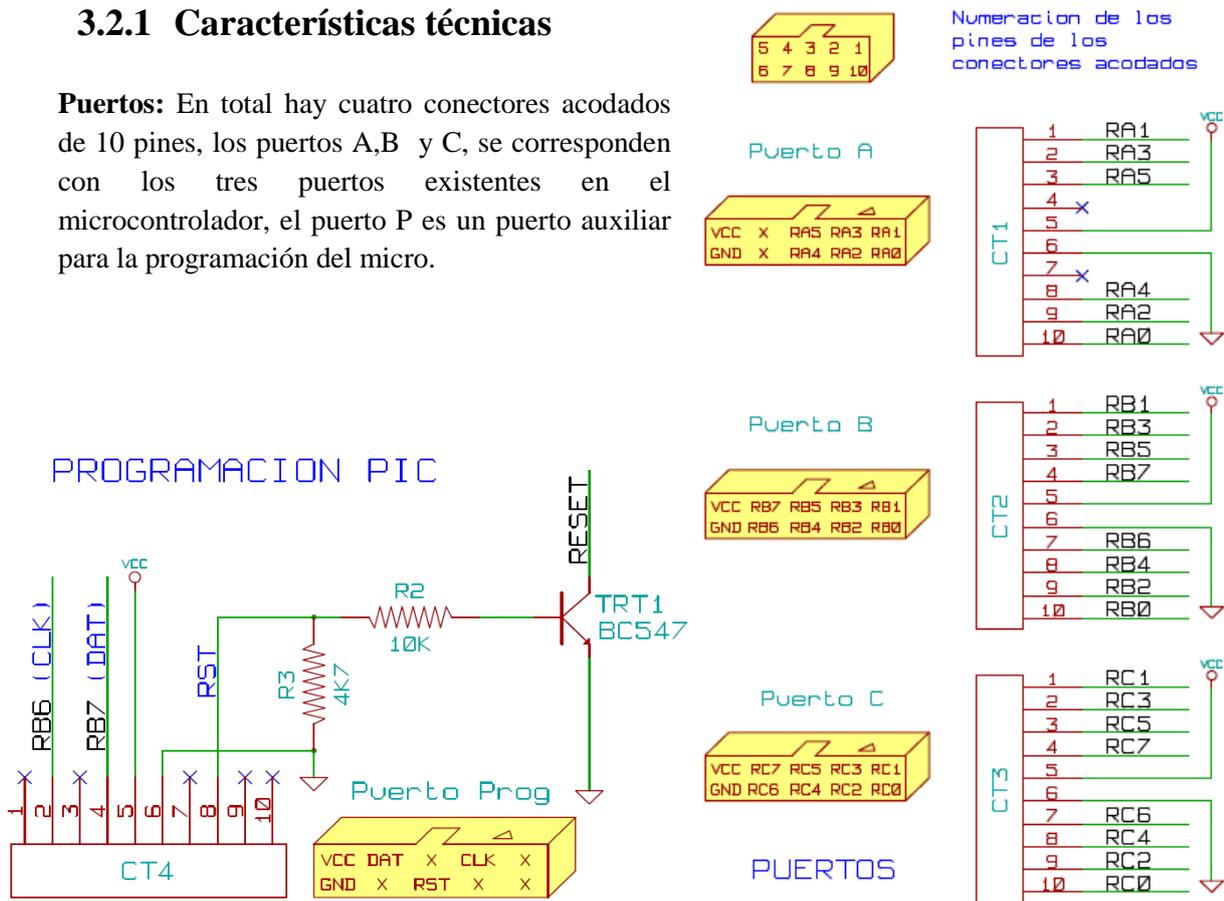


Figura 17 Esquema puertos Programacion, A, B y C

La asignación de los pines del micro se muestra en las tabla siguiente

Puerto A	Puerto B	Puerto C	Puerto Prog
<p>VCC X A5 A3 A1 GND X A4 A2 A0</p>	<p>VCC B7 B5 B3 B1 GND B6 B4 B2 B0</p>	<p>VCC C7 C5 C3 C1 GND C6 C4 C2 C0</p>	<p>VCC RB7 X RB6 X GND X RST X X</p>

Tabla 2 Tabla de asignación de puertos del PIC

Conectores los servos: La placa monta tres tiras de ocho pines como puertos para alimentar los servos.

En el uso de nuestro robot estos puertos no se usan, pero le aportan una gran flexibilidad a la hora de desarrollar nuevas aplicaciones.

Estos servos pueden ser alimentados a través de la misma alimentación de las placas o con una fuente externa, pudiéndose elegir con jumper 5

CONEXION SERVOS

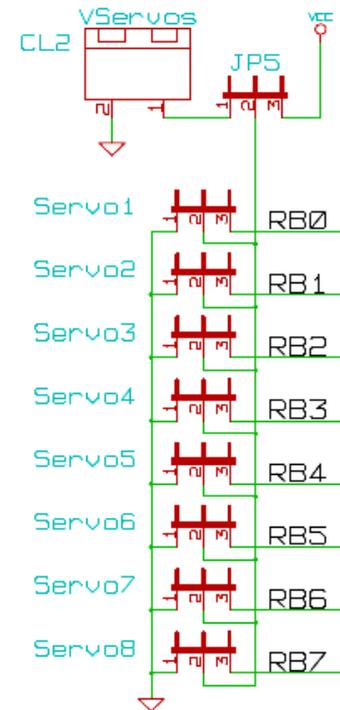


Figura 18 Esquema de conexion de los servos

Reset: El reset se puede hacer de varias maneras, de una manera manual a través del pulsador instalado en la placa o un autoreset desde el PC pudiendo habilitar y deshabilitar este mediante el jumper4.

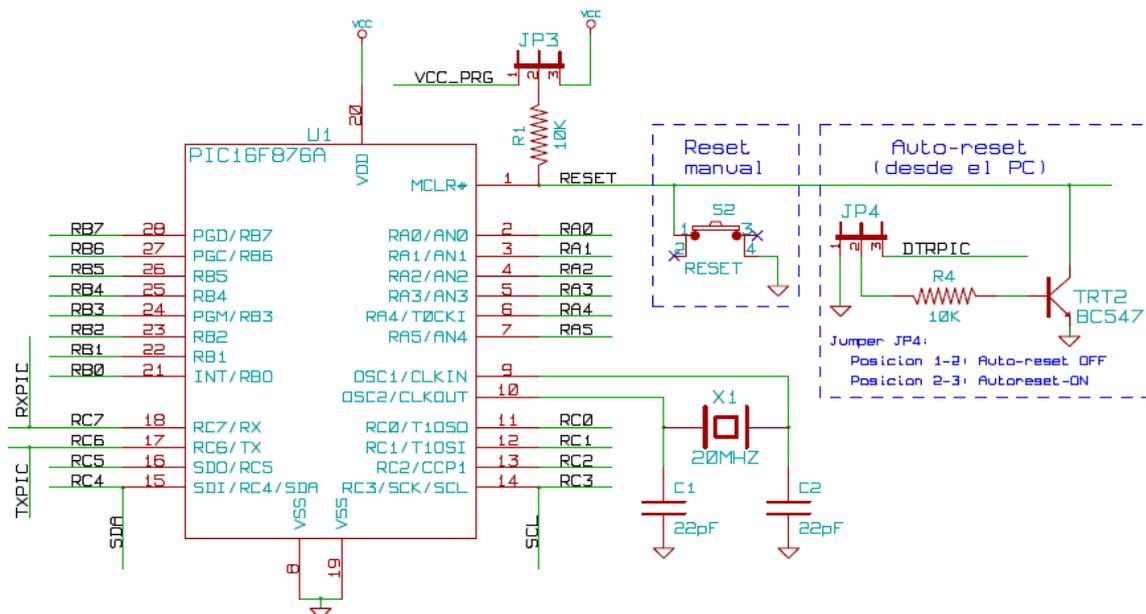


Figura 19 Esquema circuitos de reset

Pulsador de pruebas: En el robot hemos creído necesario instalar un pulsador de pruebas, para que mediante programación este pueda usarse por ejemplo como botón de marcha para el robot.

Este va unido a la entrada 0 del puerto B del PIC pudiendo deshabilitarse mediante el JP1.

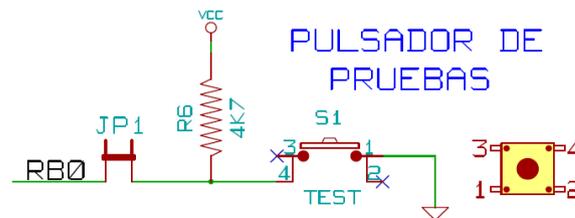


Figura 20 Esquema conexion pulsador de pruebas

Led de pruebas: El led le podemos usar por ejemplo para saber si esta leyendo algún sensor , esta alimentado correctamente y muchas otras utilidades mediante programación del PIC, por eso vimos recomendable instalarlo en la placa, conectado al bit 1 del puerto B mediante una resistencia, para limitar la corriente que le llega al led

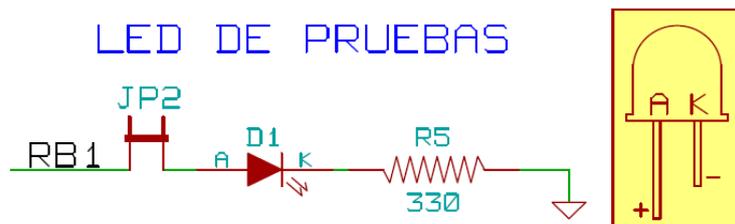


Figura 21 Esquema conexion led de pruebas

Alimentación: La alimentación de ambas placas se va a realizar mediante un único punto de conexión en la placa de control, pudiéndose conectar mediante una clema o un conector Jack , mas cómodo a la hora de conectar y desconectar.

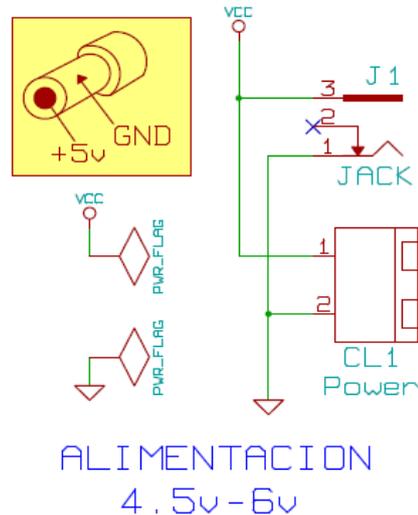


Figura 22 Esquema alimentacion de la placa de control

-Conector telefónico RJ11 para la conexión serie RS232:Una de las comunicaciones mas comúnmente utilizadas en informática y/o electrónica es la comunicación serie, y dentro de este tipo de comunicaciones se encuentra la USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter o en español: Receptor y emisor síncrono o asíncrono universal).

El puerto serie del PC normalmente tiene 9 pines, pero la ventaja de este sistema es que se puede utilizar solo dos líneas de datos y una tercera de GND, para establecer una comunicación bidireccional. Dichas líneas de datos son TX, para transmitir y RX para recibir datos.

La conexión de PC a PC es tan sencilla como cruzar los cables TX de la PC1 se conectará a RX de PC2 y el TX de PC2 a RX de PC1, como se muestra en la siguiente figura:



Figura 23 Conexion serie

Casi toda la gama de PIC dispone de USART, por no decir que toda la actual; Para comunicarnos con un ordenador vía puerto serie, los PIC disponen de dos pines para tal fin, estos son RX y TX que, dependiendo del modelo de microcontrolador están compartidos con otros recursos, en nuestro caso el PIC los comparte con el puerto B.

Ahora bien, nuestro microcontrolador maneja tensiones TTL a 5V, esto quiere decir que, para el PIC, un 0 lógico equivale a un voltaje muy cercano o como mínimo a 0V y un 1 lógico a un voltaje de 5V como máximo.

El ordenador entiende un 1 lógico cuando la tensión en el pin correspondiente del puerto serie es de entre +3V y +15V, un 0 lógico es cuando esa tensión se encuentra entre -15V y -3V.

Siendo esto así, si bien el PIC entiende el lenguaje que habla el PC mediante el puerto serie, no se puede conectar directamente porque los niveles de tensión son distintos, es por ello que disponemos del integrado MAX232.

Este integrado de 16 pines se encarga, el solo, de invertir y adaptar las señales procedentes tanto desde el PIC hacia el PC como las señales en sentido contrario.

Como este integrado está diseñado para adaptar los niveles del RS232 a los niveles TTL (y viceversa) las nomenclaturas de los pines están expresados del lado del microcontrolador, es decir que cuando se refiere a transmitter se refiere al PIC, el TX del PIC se conectará al TnIN (n es el 1 o 2), la señal TX entra en TnIN y sale por TnOUT hacia el PC. Lo mismo pasa con el receptor, la señal RX del ordenador entra en RnIN y sale hacia el PIC por RnOUT

Aparte de los pines correspondientes a las señales, el MAX232 dispone de otros, pero son solo para conectarle los componentes adicionales necesarios para su funcionamiento, dichos componentes no son ni más ni menos que 5 condensadores de 1µF de capacidad

En la siguiente figura se aprecia el conexionado que se ha realizado en nuestra placa.

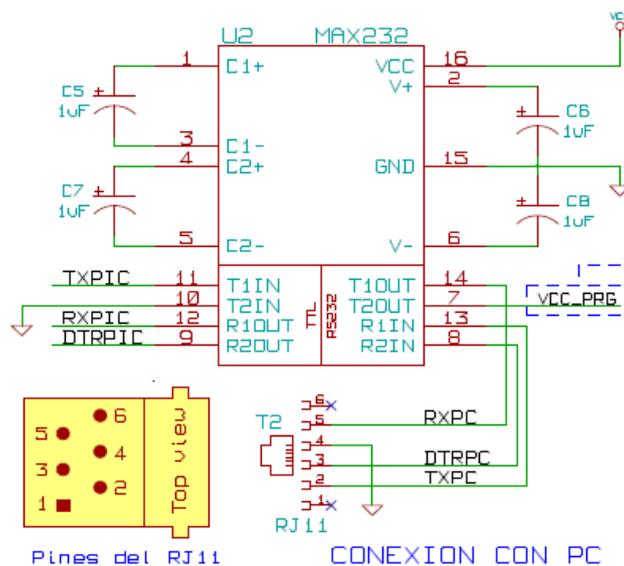


Figura 24 Esquema conexion con el PC

Conector telefónico RJ11 para la conexión del ICD2: puerto necesario para la programación del PIC, con la diferencia con el puerto P, el reset le tiene conectado directamente al PIC

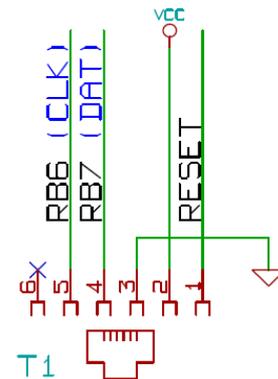


Figura 25 Esquema conexión con el puerto ICD2

3.2.2 Jumpers de configuración:

En nuestra placa existen 7 jumpers que permiten configurar su funcionamiento. Tres de ellos son de tres pines. Se puede colocar en dos posiciones posibles, uniendo los pines (1-2) ó (2-3). Los cuatro restantes son de dos pines y pueden estar puestos (ON) o quitados (OFF)

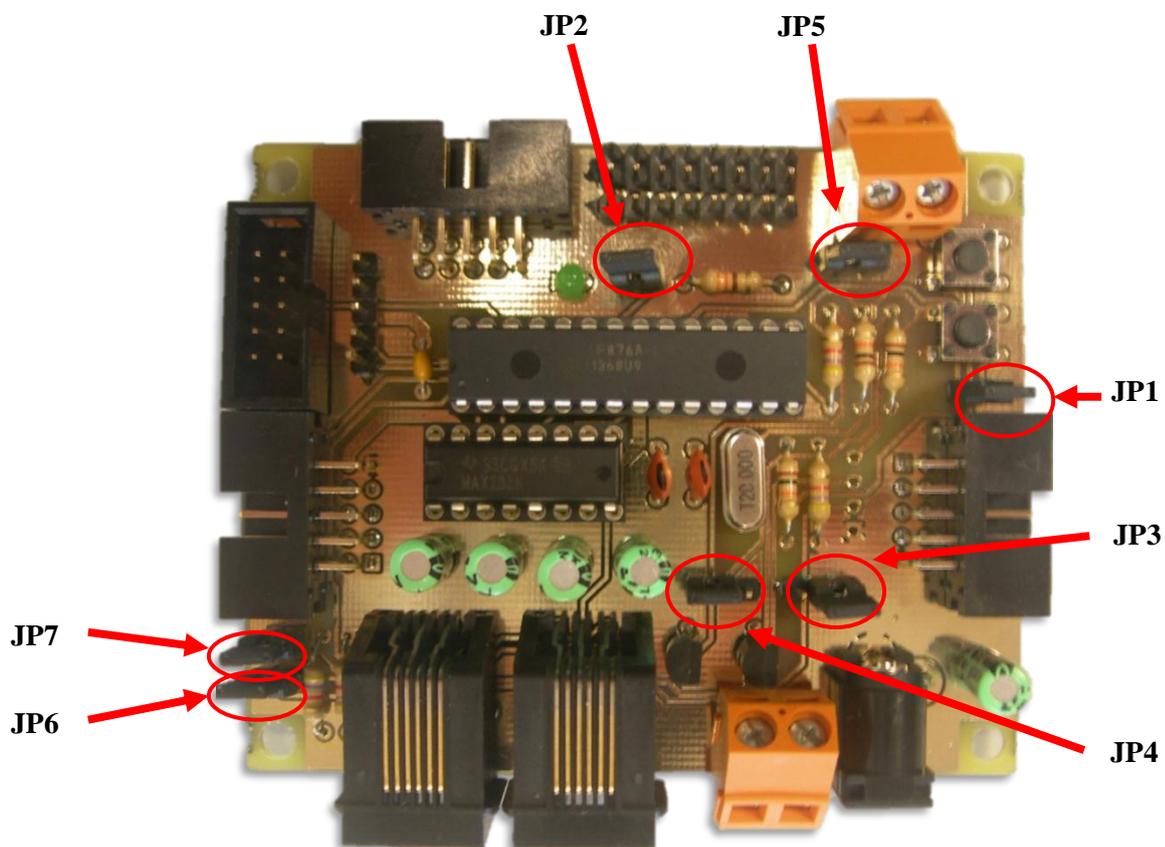


Figura 26 Posición de los jumpers

Jumper	Defecto	Descripción
JP1	ON	Pulsador de pruebas: Conectado(ON) / Desconectado(OFF)
JP2	ON	Led de pruebas: Conectado(ON) / Desconectado(OFF)
JP3	2-3	Modo de funcionamiento: Grabación(1-2) / Ejecución(2-3)
JP4	1-2	Reset software: Activado(2-3) / Desactivado ON(1-2)
JP5	2-3	Alimentación servos: Interna(2-3) / Externa(1-2)
JP6	ON	I2C: Pull-up en SDA(ON) / Sin Pull-up(OFF)
JP7	ON	I2C: Pull-up en SDL(ON) / Sin Pull-up(OFF)

Tabla 3 Función de los jumpers

Pulsador de pruebas: Cuando el **jumper JP1** está puesto, el pulsador estará conectado al pin RB0. En caso contrario, este pin estará "al aire" y se podrá utilizar para cualquier otro uso.

Led de pruebas: Cuando **jumper JP2** está puesto, el led estará conectado al pin RB1. En caso contrario el pin permanecerá "al aire" y se podrá utilizar para cualquier otro uso.

Modo de funcionamiento: El **jumper JP3** permite establecer el modo de funcionamiento. Este jumper sólo se debe cambiar cuando se quiera grabar a bajo nivel el PIC, como por ejemplo para poner el Bootloader. La placa estará habitualmente en modo ejecución lo que permite que el PIC pueda ejecutar código normalmente. Este jumper tendrá que estar colocado en las posiciones (2-3). Cuando el jumper está en modo de programación (1-2), la tensión que le llega al micro estará entre 9 y 12v, lo que permitirá que entre en el modo de grabación al pulsar el reset. A partir de entonces se puede realizar la grabación de firmware a través del protocolo ICSP.

Reset software: Al hacer reset el PIC se reinicia y comienza a ejecutar el programar desde el principio. Existen varias formas de hacer reset de la placa. Una es apretando el pulsador de reset. El otro es mediante software. Cuando el **jumper JP4** está en posición (1-2) el reset software está deshabilitado. Esta es la posición por defecto. Cuando el jumper está en posición (2-3) el reset software estará activado. Ahora se puede hacer reset utilizando la señal DTR del puerto serie. De esta manera, si la placa está conectada al PC, al desactivarse el DTR se realizará un reset. Esto lo pueden utilizar las aplicaciones software para reiniciar la Skypic. Por ejemplo para cargar programas automáticamente cuando se está usando el Bootloader, o parando un robot que se nos haya descontrolado.

Alimentación de los servos: A nuestra placa se le pueden conectar directamente hasta 8 servos del tipo Futaba 3003 o compatibles. Su tensión de alimentación está comprendida entre 4.5 y 6 voltios. Cuando se conectan a la placa, la alimentación se puede tomar bien directamente de la misma que usa la Skypic o bien de una externa, que se introducirá por las bornas situadas al lado del **jumper JP5**. Cuando el jumper esté en la posición (2-3) se usa la alimentación interna y cuando está en la posición (1-2) la externa.

Pull-ups del I2C: Los **jumpers JP6 y JP7** permiten conectar o desconectar resistencias de Pull-up a las líneas SDA y SDL del bus I2C. Según el periférico que se conecte a este bus habrá que activarlas o no

3.3 Placa de potencia y polarización de los sensores

La placa proporciona la posibilidad de controlar motores, leer sensores y activar/desactivar un relé. Está diseñada para adaptarse perfectamente a la tarjeta de control, aunque se puede usar con cualquier otro microcontrolador.

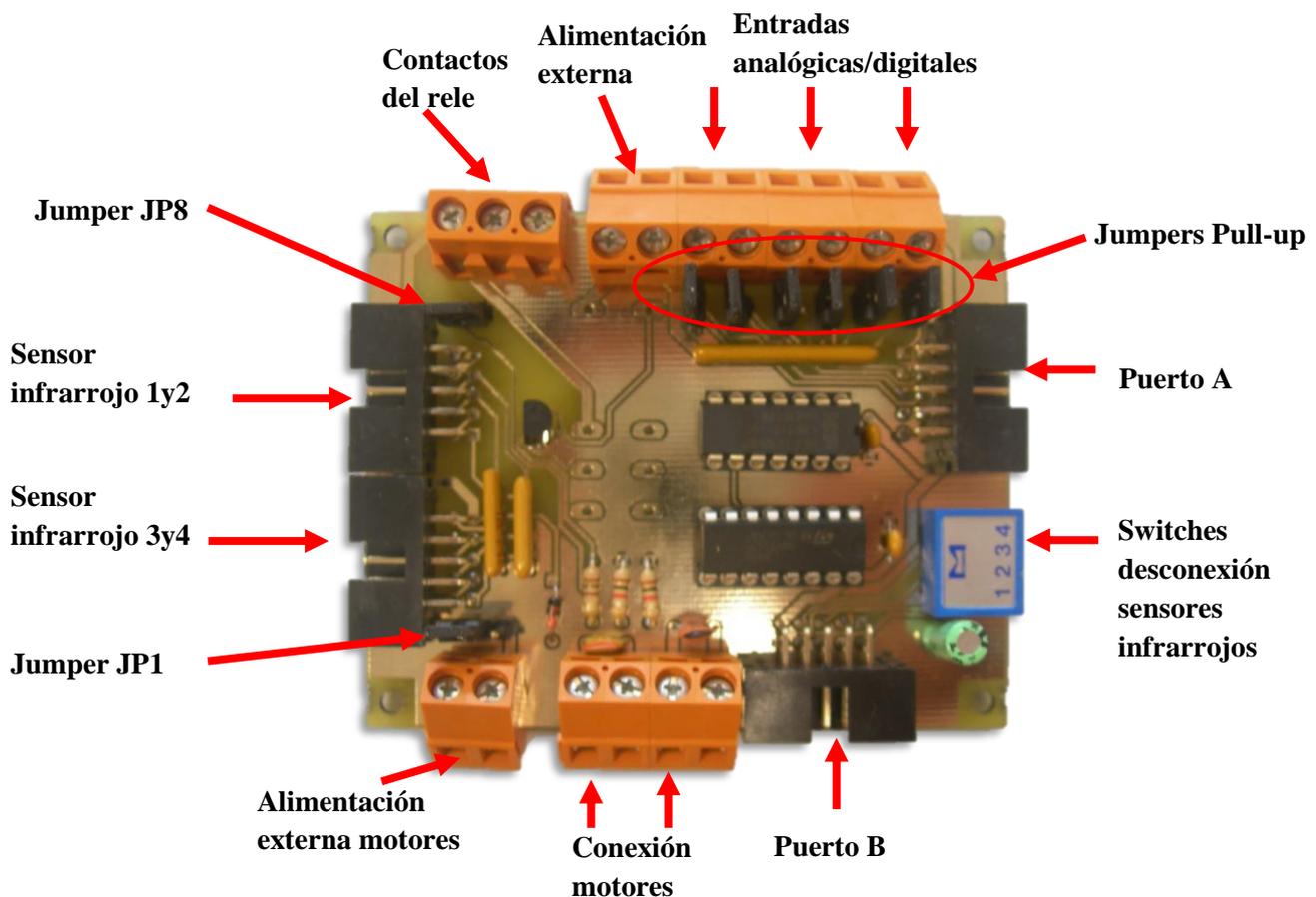


Figura 27 Conexiones y jumpers de la placa de potencia

3.3.1 Características técnicas

Puertos: Nuestra placa tiene dos puertos, denominados A y B, que se pueden conectar directamente a los puertos A y B de la tarjeta de control.

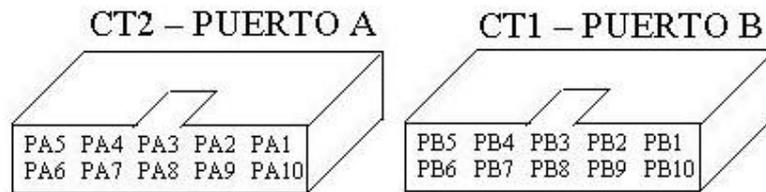


Figura 28 Pines de los puertos A y B

PUERTO A	PUERTO B
PA1: Entrada analógica/digital 1	PB1: Sentido de giro Motor 1
PA2: Entrada analógica/digital 3	PB2: Sentido de giro Motor 2
PA3: Entrada analógica/digital 4 ó Relé	PB3: Estado sensor 2
PA4: NC	PB4: Estado sensor 4
PA5: Vcc	PB5: Vcc
PA6: GND	PB6: GND
PA7: NC	PB7: Estado sensor 3
PA8: Input/output ó TOCK	PB8: Motor 2, ON/OFF
PA9: Entrada analógica/digital 2	PB9: Motor 1, ON/OFF
PA10: Entrada analógica/digital 0	PB10: Estado sensor 1

Tabla 4 Asignación de pines los puertos de los puertos A y B

-El puerto A y entradas analógicas /digitales El puerto A es el encargado de las conexiones dedicadas a entradas digitales o analógicas de los distintos sensores que se le pueden acoplar a nuestra placa.

En la placa se montan las 6 entradas a través de una serie de clemas para una conexión mas simple y flexible, con la posibilidad de adaptarle unas resistencias de Pull-up mediante los jumpers correspondientes.

Este tipo de resistencias es estrictamente necesario en el caso de conectar un sensor de contacto como los bumpers, o un sensor de luz como las LDR, sin estas la corriente que pasaría a través de los conductores cuando los bumpers se cerraran o recibiera mucha luz la LDR seria muy grande, incrementando el consumo e incluso llegando a producirse averías.

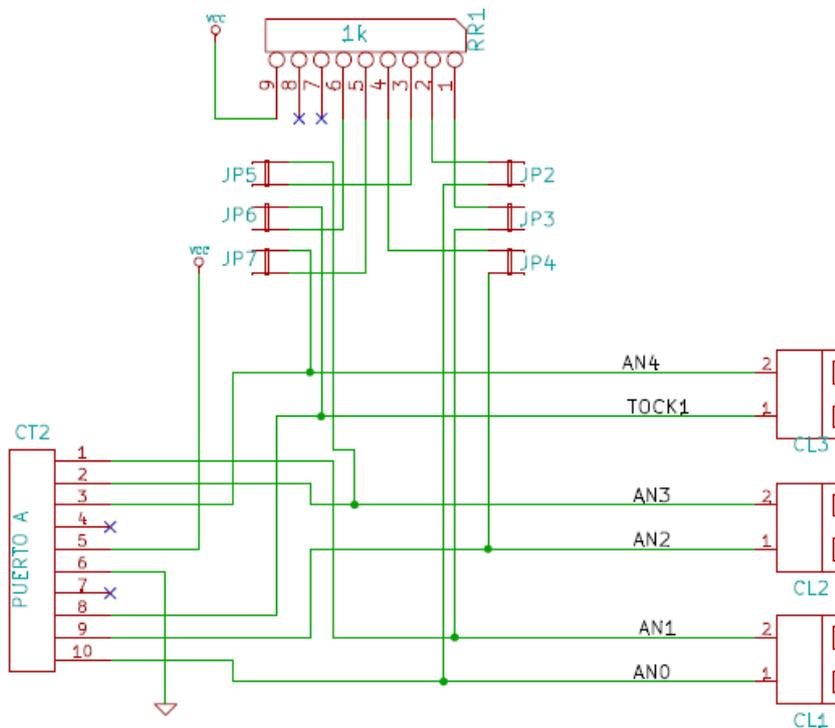


Figura 29 Esquema de conexión del puerto A

-Puerto B El puerto B es el encargado de las comunicaciones de los sensores infrarrojos y los motores.

Para realizar el control de los dos motores de los que dispone nuestro robot hemos optado por montar un circuito integrado L293.

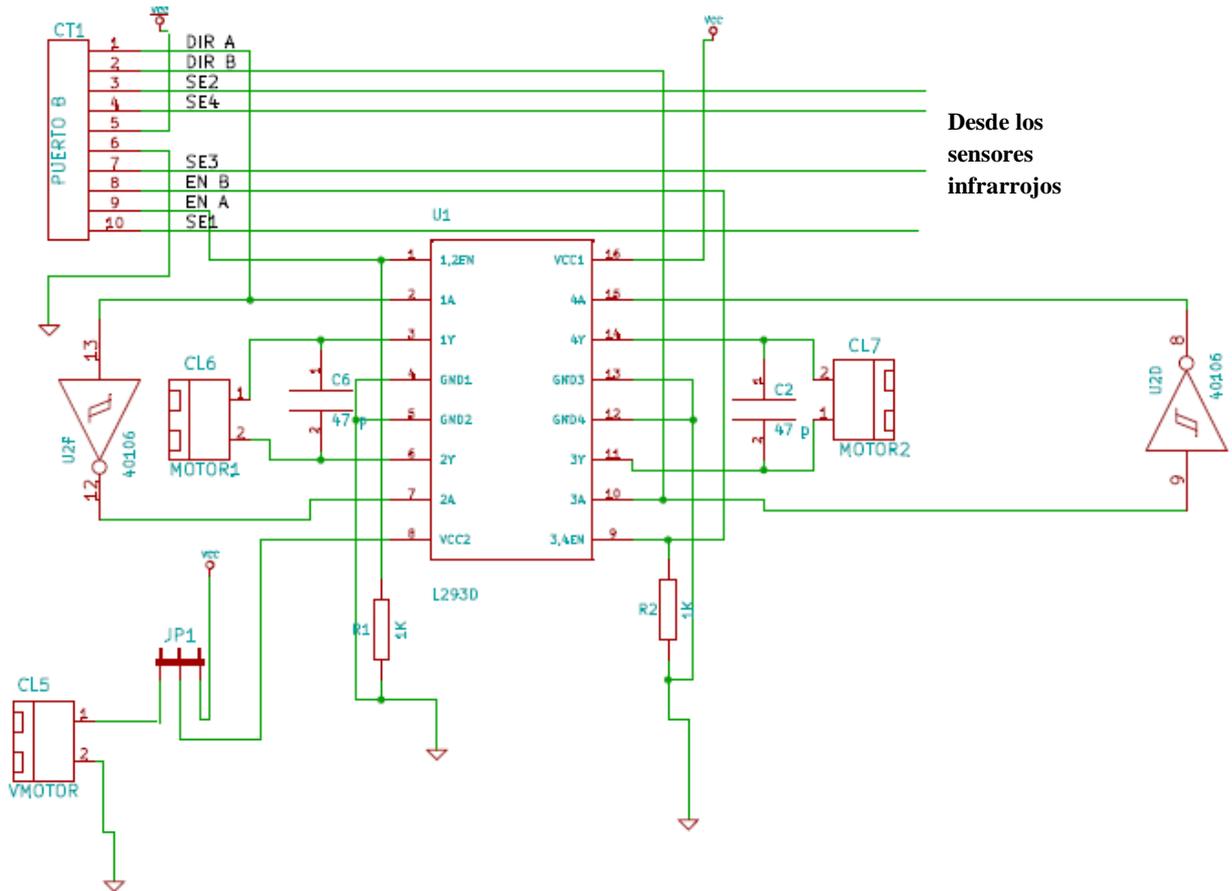
El L293B es un driver de 4 canales capaz de proporcionar una corriente de salida de hasta 1A por canal y puede soportar picos de hasta 2 A. Cada canal es controlado por señales de entrada compatibles TTL y cada pareja de canales dispone de una señal de habilitación que desconecta las salidas de los mismos.

Dispone de una patilla para la alimentación de las cargas que se están controlando, de forma que dicha alimentación es independiente de la lógica de control y soporta hasta 36 volts tanto para la lógica como para la carga, en nuestro caso en la clema de alimentación externa, pudiendo seleccionarla con el Jumper1, recordando que los voltajes de entrada son de 5 volts. A continuación la descripción de cada pin del integrado.

Pin.	Nombre.	Descripción.
1	Chip Enable 1	Habilitación de los canales 1 y 2
2	Input 1	Entrada del canal 1
3	Output 1	Salida del canal 1
4	GND	Tierra
5	GND	Tierra
6	Output 2	Salida del canal 2
7	Input 2	Entrada del canal 2
8	Vs	Alimentación de las cargas
9	Chip Enable 2	Habilitación de los canales 3 y 4
10	Input 3	Entrada del canal 3
11	Output 3	Salida del canal 3
12	GND	Tierra
13	GND	Tierra
14	Output 4	Salida del canal 4
15	Input 4	Entrada de canal 4
16	Vss	Alimentación de la lógica

Tabla 5 Asignación de pines del chip L293D

A continuación se muestra el diagrama de conexión en nuestra placa.



Desde los
sensores
infrarrojos

Figura 30 Esquema de conexión de los driver de los motores

En nuestro diseño la activación de los motores se realizara desde los pines 8 y 9 del puerto B, y el control de la dirección de los mismos se realizara mediante los pines 1 y 2 aplicando un 1 o un 0 lógico para cambiar la dirección.

Lectura de sensores infrarrojos La placa puede llevar hasta cuatro sensores infrarrojos CNY70, a través de los dos puertos dedicados a ello. A continuación se representa el método de conexión de los dos puertos de los sensores:

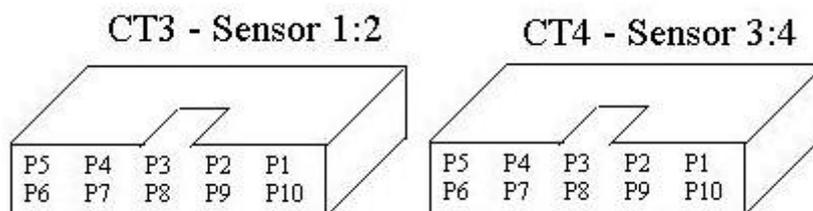


Figura 31 Patillaje de los puertos de los sensores infrarrojos

CT3 - SENSOR 1:2	CT4 - SENSOR 3:4
P1: Pin E (Sensor 1)	P1: Pin E (Sensor 3)
P2: Vcc - Pin C,A (Sensor 1)	P2: Vcc - Pin C,A (Sensor 3)
P3: Pin K (Sensor 1)	P3: Pin K (Sensor 3)
P4: Pin E (Sensor 2)	P4: Pin E (Sensor 4)
P5: Vcc - Pin C,A (Sensor 2)	P5: Vcc - Pin C,A (Sensor 2)
P6: Pin K (Sensor 2)	P6: Pin K (Sensor 4)
P7: Vcc - Pin C,A (Sensor 2)	P7: Vcc - Pin C,A (Sensor 4)
P8: Pin E (Sensor 2)	P8: Pin E (Sensor 4)
P9: Pin K (Sensor 1)	P9: Pin K (Sensor 3)
P10: Vcc - Pin C,A (Sensor 1)	P10: Vcc - Pin C,A (Sensor 3)

Tabla 6 Asignación de los pines de los puertos de los sensores infrarrojos

Este tipo de sensores necesita un acondicionamiento de señal que ya va montado en la placa, como son unas resistencias para la polarización del transistor y otra para limitar la corriente por el diodo y un trigger Schmitt para obtener la señal digital. El switch se instala por comodidad a la hora de conectar y desconectar los sensores.

A continuación tenemos un esquema unitario de cada uno de los sensores CNY70 conectados a la placa.

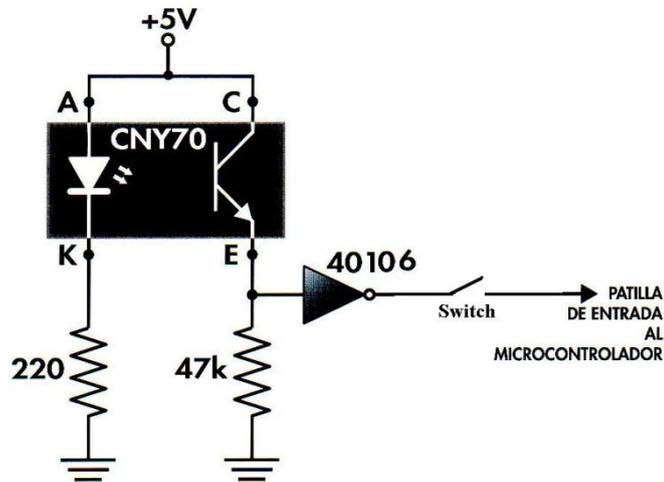


Figura 32 Esquema unitario de conexión del sensor CNY70

El comparador es necesario para el uso que le queremos dar a nuestros sensores infrarrojos, ya que con ellos se quieren distinguir es una línea negra sobre un fondo blanco, y nuestro sensor tiene una respuesta lineal al nivel de luz reflejada sobre la superficie en la que se desplaza el microrobot.

La salida del sensor será variable, y lo que queremos es una señal digital para que el nuestro PIC detecte las líneas.

Este comparador es un comparador con histéresis, es decir, que cuando la señal de entrada pase de un valor inferior a ($V_p=3v$) a un valor superior, su salida será un 0 lógico, y cuando la señal de entrada (V_i) pase de un valor superior a ($V_n=2,2v$) a otro inferior, la salida (V_o) será un 1 lógico, con esta histéresis ($V_h=0,8v$) se consigue que la salida del sensor cuando se encuentra en valores medios no este continuamente oscilando , e incluso dando falsos positivos.

En la grafica siguiente se puede apreciar el funcionamiento del comparador.

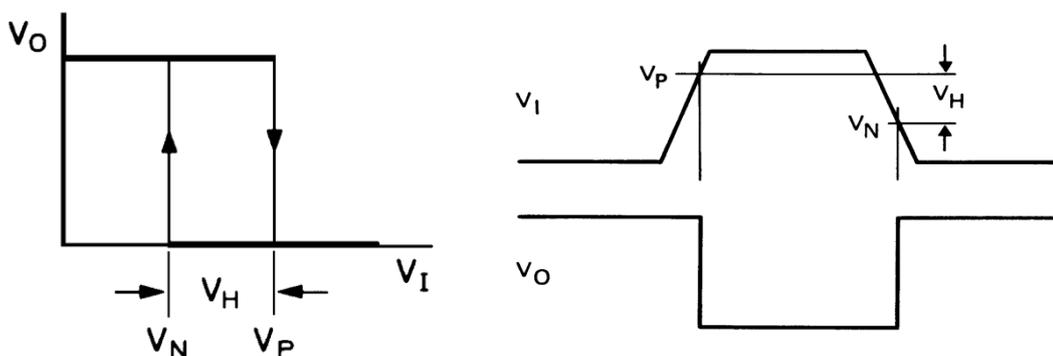


Figura 33 Graficas de comportamiento del trigger schmith

A continuación se muestra el esquema completo del conexionado de todos los sensores con su correspondiente acondicionamiento.

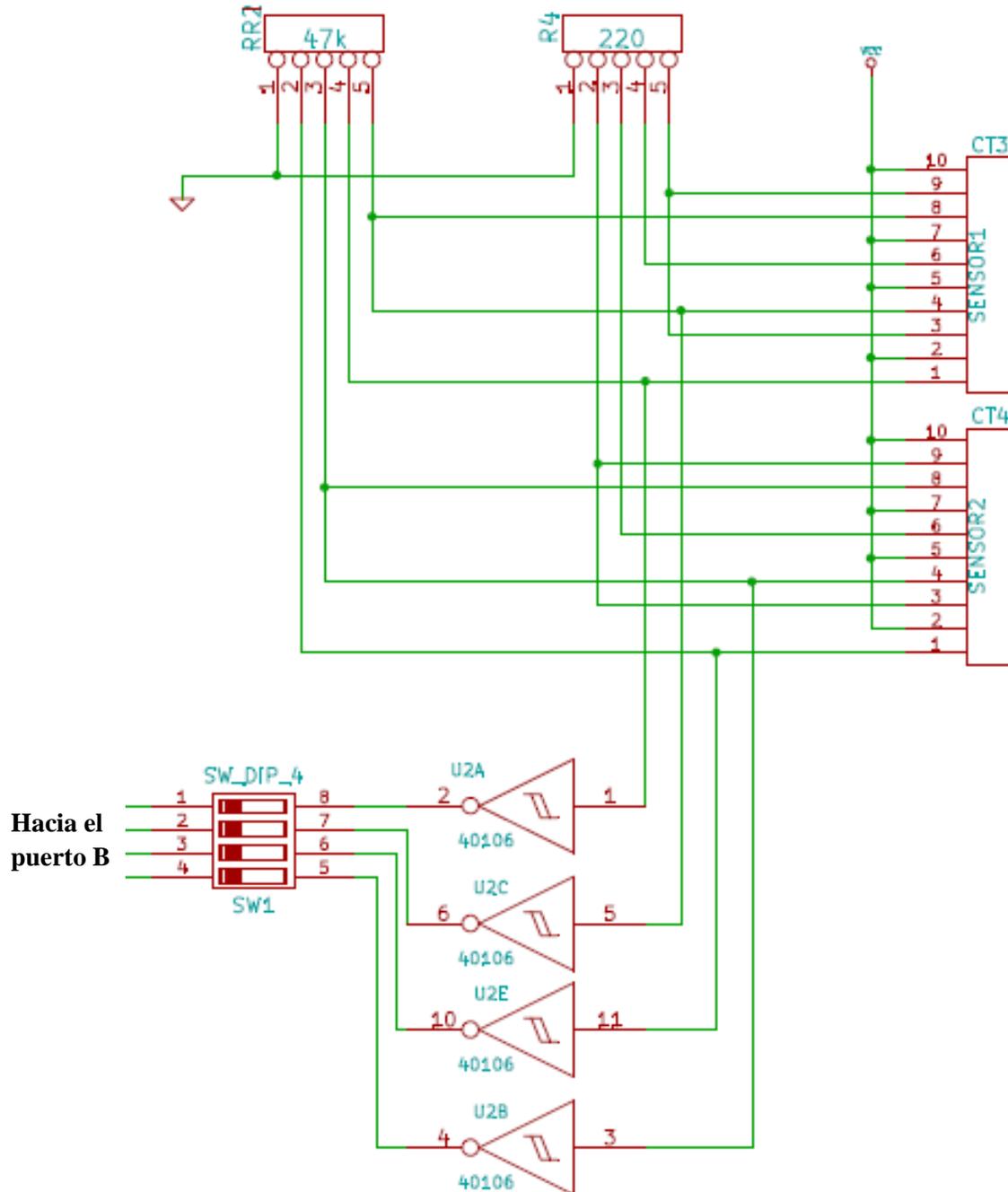


Figura 34 Esquema de conexionado general de los sensores infrarrojos

Relé: La placa también incorpora un relé de activación a partir de un bit del puerto A, con sus propias клемas de conexión externa. En el uso de nuestro robot no tiene aplicaciones pero le otorga una gran flexibilidad a la hora de diseñar multitud de aplicaciones con este mismo hardware, ya que a través de este relé se pueden conectar tensiones altas para encender motores o equipos de más potencia.

El bit del puerto A se encuentra compartido con las клемas de entrada digital/analógica, por lo que se incorpora un jumper JP8 para la activación o no del relé.

La bobina del relé tiene una activación a 5 voltios, para su activación se usa como interruptor un transistor NPN, este al recibir corriente por la base cierra en circuito entre la bobina y la tierra activándose esta.

Se muestra el esquema de conexión en nuestra placa en la siguiente figura.

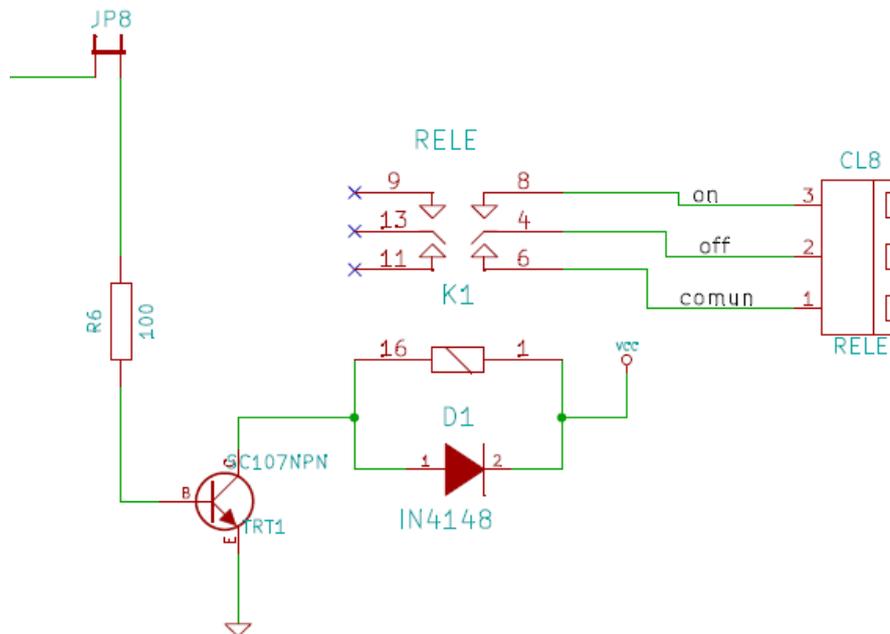


Figura 35 Esquema de conexión del relé



Capítulo 4

Sistema sensorial

4.1 Posición de los sensores

El posicionado de los sensores es una tarea esencial a la hora de desarrollar el robot, ya que la posición determina la posible respuesta de estos.

-Bumpers: se han colocado fijados en la parte inferior delantera del chasis, uno en la izquierda y otro en la derecha, pudiendo detectar obstáculos por ambos lados. Estos sensores se podrían ser ampliados colocando otra pareja en la parte posterior.

-Infrarrojos: estos sensores son los mas críticos a la hora de posicionarlos , ya que tienen una distancia de detección muy pequeña, en nuestro caso, el proyecto que se centra en la mecánica diseño una estructura móvil, donde fijarlos en la parte inferior delantera del robot , para así poder adaptarse a diferentes condiciones de luz o terreno.

-Sensores de luz: En principio se pensó en la idea de colocar el sensor al final de un alambre flexible , pudiendo direccionar el sensor al lugar del que se quisiera detectar luz, finalmente se opto por montar una pareja de LDRs en un circuito impreso a ambos lados del frontal del robot , pudiendo detectar así la dirección de un foco luminoso.

-Sensor de ultrasonidos: Este sensor se coloca en la parte frontal en la estructura diseñada en el proyecto que se centra en la mecánica, la cual se adapta perfectamente, detectando así posibles obstáculos en el camino del robot.

En la siguiente figura se aprecia la colocación de los sensores.

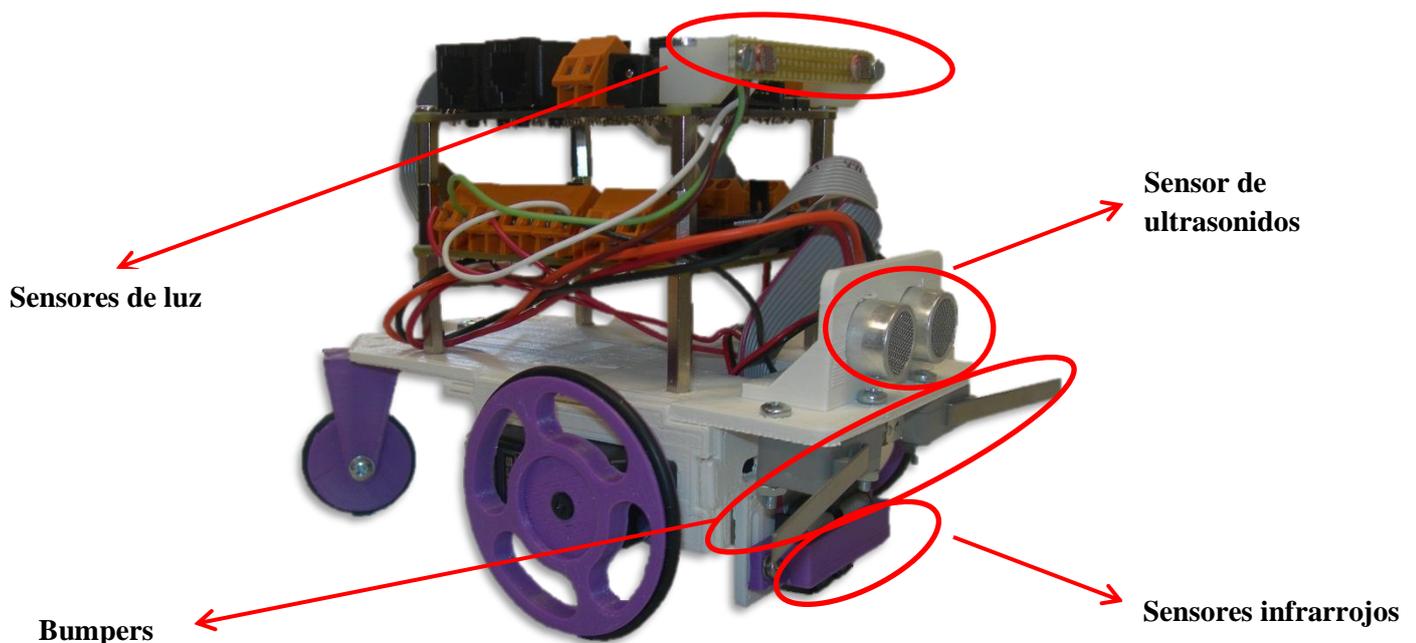


Figura 36 Posicion de los sensores

4.2 Bumpers

El bumper es un conmutador de 2 posiciones con muelle de retorno a la posición de reposo y con una palanca de accionamiento mas o menos larga según el modelo elegido.

En estado de reposo la patilla común (1) y la de reposo (4) están en contacto permanente hasta que la presión aplicada a la palanca del bumper hace saltar la pequeña pletina acerada interior y entonces el contacto pasa de la posición de reposo a la de activo (2), se puede escuchar cuando el bumper cambia de estado, porque se oye un pequeño clic, esto sucede casi al final del recorrido de la palanca.

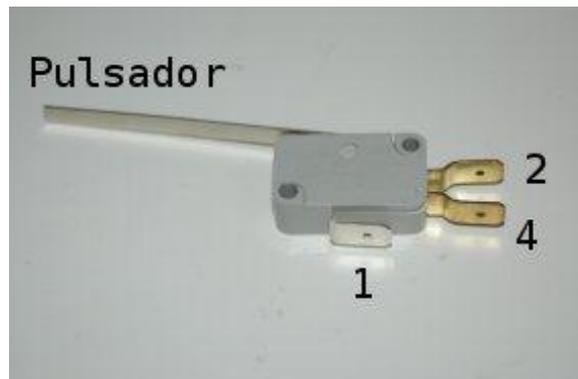


Figura 37 Bumper

Se usan para detección de obstáculos por contacto directo. No son adecuados para robots de alta velocidad ya que cuando detectan el obstáculo ya están encima y no da tiempo a frenar el robot.

Al utilizar un circuito de Pull-UP que lleva incorporada la placa de potencia y polarización de los sensores, no es necesario utilizar los tres conectores, nos bastará con dos. Por lo tanto se procede a eliminar el conector 4 (lateral inferior) para que no nos moleste al montar los bumpers en la estructura. Haremos esto en los dos bumpers de cada robot. Luego, soldaremos en el bumper 1 un cable rojo en el conector 1 y uno negro en el conector 2. En el bumper 2 sólo se soldará uno rojo en el conector 1. El proceso se muestra en las siguientes figuras:

Paso 1: quitar el conector

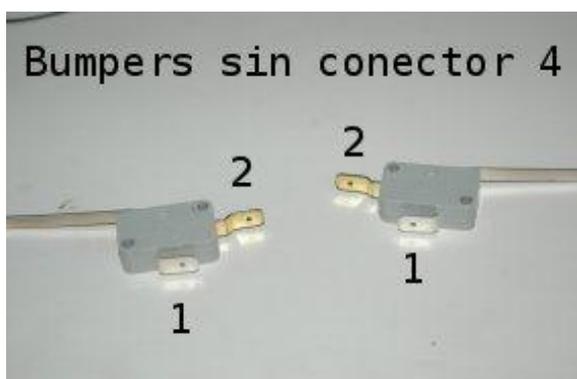


Figura 38 Bumpers sin conector

Paso 2: soldar los cables al bumper

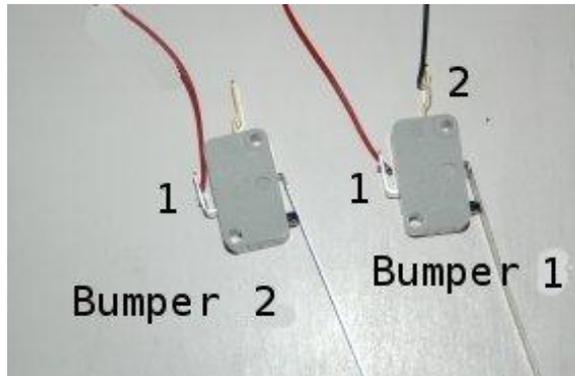


Figura 39 Bumpers con cables soldados

Paso 3. montar en la estructura, soldando entre si los dos bumpers

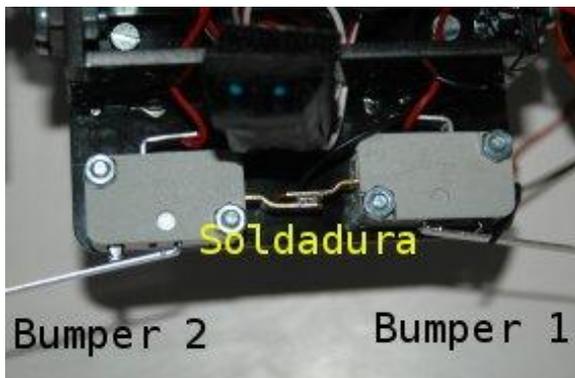


Figura 40 Detalle de la posición de los bumpers

4.3 Sensores infrarrojos

El CNY70 es un sensor de infrarrojos de corto alcance basado en un emisor de luz y un receptor, ambos apuntando en la misma dirección, y cuyo funcionamiento se basa en la capacidad de reflexión del objeto, y la detección del rayo reflejado por el receptor.

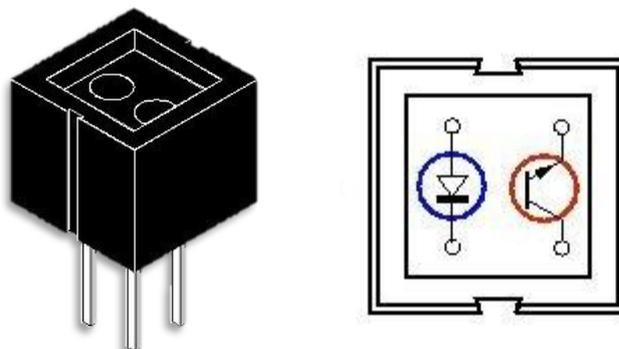


Figura 41 Vista externa y circuitos internos del sensor CNY70

El CNY70 tiene cuatro pines de conexión. Dos de ellos se corresponden con el ánodo y cátodo del emisor, y las otras dos se corresponde con el colector y el emisor del receptor. Los valores de las resistencias son típicamente 47K ohmios para el receptor y 220 ohmios para el emisor.

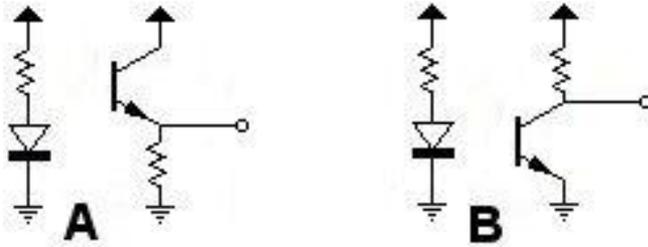


Figura 42 Diferentes posibilidades de montaje del CNY70

El CNY70 devuelve por la pata de salida correspondiente, según el montaje, un voltaje relacionado con la cantidad de rayo reflejado por el objeto. Para el montaje A que es el que hemos elegido para nuestro robot, se leerá del emisor un '1' cuando se refleje luz y un '0' cuando no se refleje. Para el montaje B los valores se leen del colector, y son los contrarios al montaje A.

Si conectamos la salida a una entrada digital del microcontrolador, entonces obtendremos un '1' o un '0' en función del nivel al que el microcontrolador establece la distinción entre ambos niveles lógicos. Este nivel se consigue controlar introduciendo un buffer trigger-schmitt, entre la salida del CNY70 y la entrada del microcontrolador. Este sistema es el que se emplea para distinguir entre blanco y negro.

Hemos optado por montar cuatro sensores infrarrojos en el frente de nuestro robot para seguir líneas, poniendo dos mas de los necesarios para otorgarle un plus de funcionalidad a la hora de seguir líneas, pudiendo ahora introducirle bifurcaciones en los circuitos.

Los dos sensores centrales serian los encargados de seguir la línea y los dos sensores laterales se encargarían de localizar las marcas en el camino para desplazarse a la izquierda o la derecha en la siguiente bifurcación.

Para la conexión de los sensores hemos optado por una manera sencilla y funcional a la hora de colocarlos, usando un cable plano de bus al cual en uno de sus conectores se le pinchan dos sensores, de esta manera si alguno de los sensores falla es fácilmente reemplazable solo tirando de él , ya que no existen soldaduras.



Figura 43 Detalle de la conexión de los sensores CNY70

El único inconveniente del sensor es la necesidad de tener que situarlo muy próximo al objeto, para detectar correctamente la reflexión. Por lo demás, es una solución muy buena para la detección de línea e incluso para emplearlo como encoder para la medición de las vueltas dadas por las ruedas del robot.

4.4 Sensores de luz

La resistencia LDR (Light Dependent Resistors) o fotorresistencia, es un componente electrónico cuya resistencia varía según la intensidad de luz que incide sobre él. A medida que la intensidad luminosa incide sobre ella, el valor óhmico de la resistencia LDR disminuye. Puede pasar de varios Mohmios en la oscuridad a unos pocos ohmios al aumentar la intensidad de la luz.

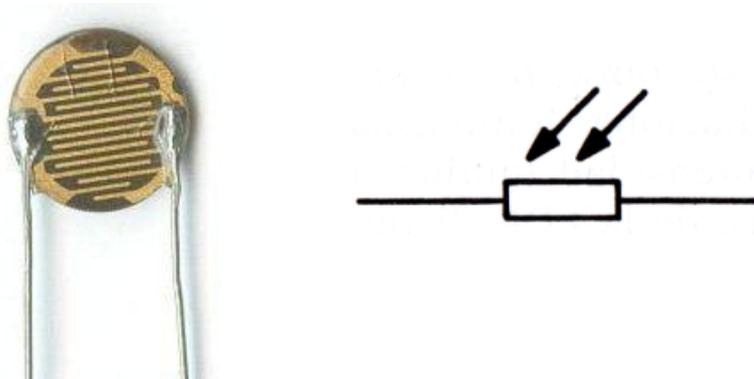


Figura 44 Foto y símbolo de una LDR

Los materiales fotosensibles más utilizados para la fabricación de las resistencias LDR son, el sulfuro de talio, el sulfuro de cadmio, el sulfuro de plomo, y el seleniuro de cadmio.

Cuando la LDR no está expuesta a radiaciones luminosas los electrones están firmemente unidos en los átomos que forman la red del metal. Cuando sobre ella inciden radiaciones luminosas esta energía libera electrones y el material se hace más conductor, es decir disminuye su resistencia.

Las resistencias LDR solamente reducen su resistencia con una radiación luminosa situada dentro de una determinada banda de longitudes de onda. Las construidas con sulfuro de cadmio son sensibles a todas las radiaciones luminosas visibles, las construidas con sulfuro de plomo solamente son sensibles a las radiaciones infrarrojas.

La relación entre el valor de la resistencia y la iluminación, se puede expresar aproximadamente mediante la siguiente expresión:

$$R = A * L^{\alpha}$$

-R = Valor de la resistencia (Ω)

-L = Iluminación (lux)

-A y α son constantes (el valor de α depende del material utilizado y del proceso de fabricación, varía de 0,7 a 0,9)

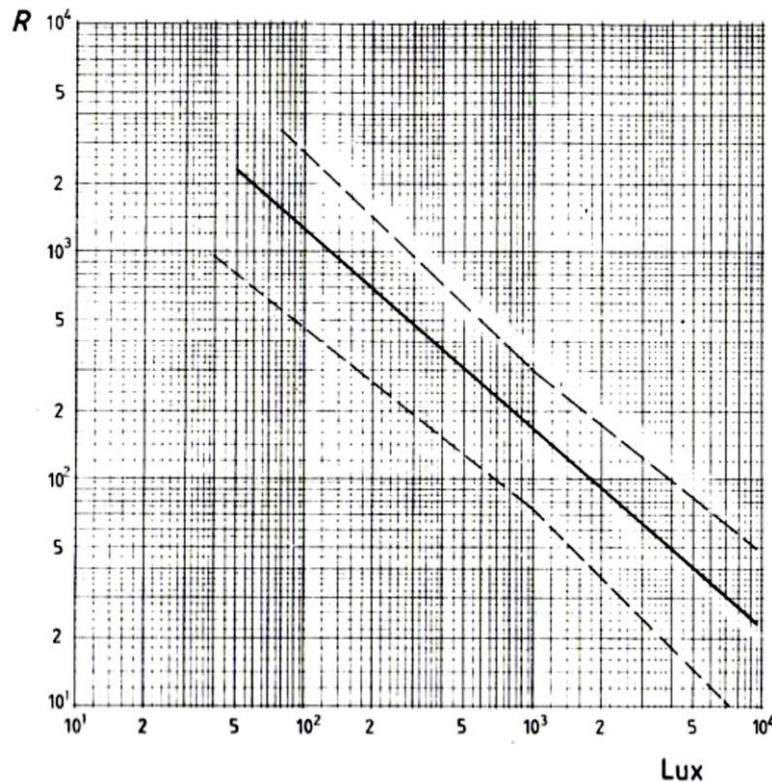


Figura 45 Gráfica resistencia Vs iluminación en una LDR

En la gráfica vemos tres curvas suministradas por el fabricante, la de trazo continuo es la curva nominal, y las otras dos discontinuas corresponden a las curvas características típica máxima o mínima.

- **Tiempo de recuperación**

Si una resistencia LDR pasa de estar iluminada a oscuridad total, el valor de la resistencia no aumenta inmediatamente, debe transcurrir un cierto tiempo, llamado tiempo de recuperación. En el caso inverso, al pasar de la oscuridad a un cierto valor de iluminación, la velocidad del tiempo de recuperación es mayor.

En nuestro caso el tiempo de recuperación no es un factor crítico a la hora de escoger el tipo de LDR, ya que los usos para los que se podría utilizar en nuestro robot, como puede ser el seguimiento de un foco de luz, la mayoría de LDRs del mercado podrían cumplirlo.

Finalmente se optó por poner dos LDR en el frontal del robot, para facilitar así el posible seguimiento de un foco luminoso, estas se conectan por el puerto A de la placa de motores y sensores.

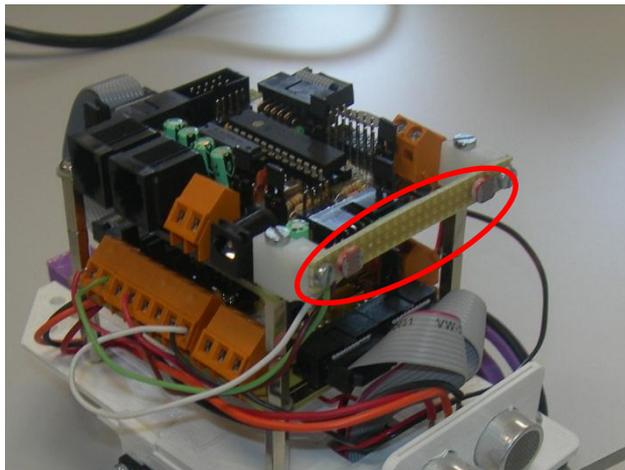


Figura 46 Detalle de la colocación de las LDR

4.5 Sensores de ultrasonido

Consiste en un medidor ultrasónico de distancias de bajo costo desarrollado por la firma DEVANTECH Ltd. El módulo SRF05 es una evolución del módulo SRF04 y está diseñado para aumentar la flexibilidad, aumentar el rango de medida y reducir costes. Es totalmente compatible con el SRF04 y el rango de medida se incrementa de 3 a 4 metros



Figura 47 Sensor de ultrasonidos SFR05

Dispone de un modo de operación que se selecciona simplemente conectando el pin “Mode” a GND. Dicho modo permite al SRF05 emplear un único pin de E/S que sirve tanto para dar la orden de inicio o disparo, como para obtener la medida realizada (ECO).

Cuando el pin de “Mode” no se emplea y se deja sin conectar, el SRF05 trabaja de la misma manera que el SRF04. Esto es, la señal de disparo y la salida de ECO se realizan por pines diferentes.

El SRF05 incluye una pequeña temporización tras el pulso ECO de salida, que permite que controladores lentos como Basic Stamp y Picaxe puedan ejecutar sus correspondientes instrucciones.

Modo 1, Compatibilidad con SRF04

Este modo emplea patillas separadas, una para aplicar el pulso de inicio o Trigger y otra para leer la anchura del pulso del ECO medido. Todos los programas realizados para el SRF04 deben funcionar perfectamente en este modo, que se selecciona simplemente dejando la patilla “Mode” sin conectar (igual que en el SRF04).

Tal y como se muestra en el diagrama de tiempos de la figura 48, el modo de empleo es muy sencillo. Externamente se aplica, por parte del usuario, un pulso de disparo o trigger de 10 μ S de duración mínima. Se inicia la secuencia. El módulo transmite un tren de pulsos o “burst” de 8 ciclos a 40KHz. En ese momento la señal de salida ECO pasa a nivel “1”. Cuando la cápsula receptora recibe la señal transmitida como consecuencia de haber rebotado en un objeto (eco), esta salida pasa de nuevo a nivel “0”. El usuario debe medir la duración del pulso de esta señal, es decir, el tiempo en que la señal eco se mantiene a “1”.

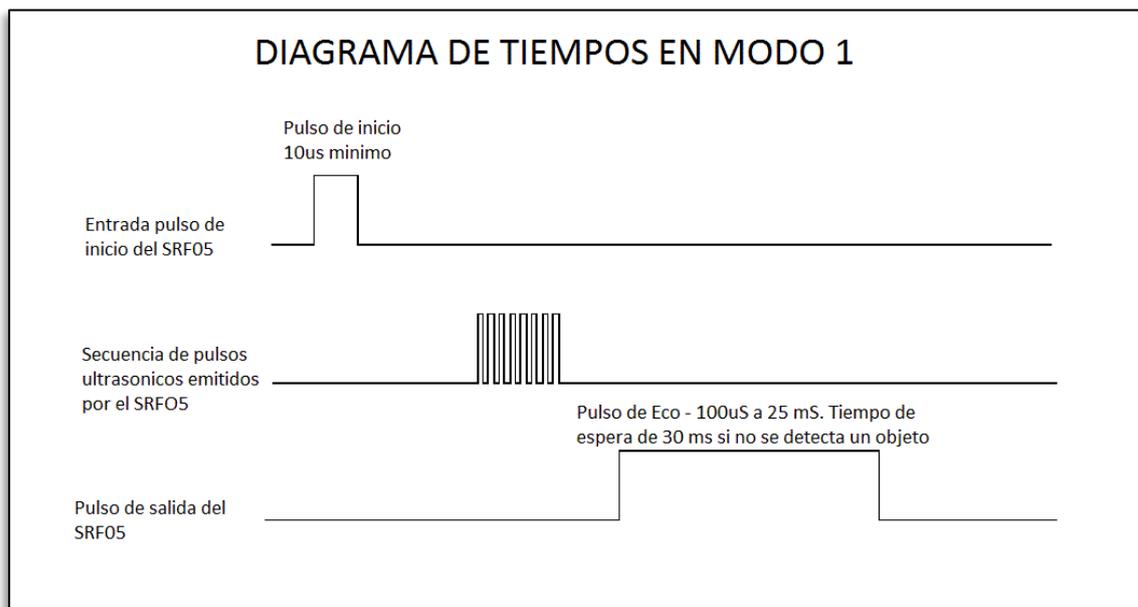


Figura 48 Diagrama de tiempos del SFR05 en Modo 1

Con objeto de que el módulo se estabilice, se debe dejar un lapsus de tiempo de unos 20mS mínimo entre el momento en que la señal de eco pasa a “0” y un nuevo pulso de disparo que inicie el siguiente ciclo o medida. Esto permite realizar medidas cada 50mS o lo que es igual a 20 medidas por segundo.

La duración del pulso eco de salida varía entre 100µS y 25mS, en función de la distancia entre las cápsulas del módulo y el objeto. La velocidad del sonido es de 29.15 µS/cm. que, como realiza un recorrido de ida y vuelta, queda establecida en 58.30µS/cm. Así pues el rango mínimo que se puede medir es de 1.7 cm. (100µS/58) y el máximo de 431 cm. (25mS/58).

Modo 2, Patilla única para trigger y ECO

Este modo permite emplear una única patilla para generar la señal de disparo o trigger y también para realizar la medida de la anchura del pulso de salida del ECO, lo que ahorra patillas en el microcontrolador central. Para emplear este modo basta con conectar la patilla “Mode” con GND. La señal de ECO aparecerá entonces en la misma patilla por la que se aplicó la señal de trigger. Esa patilla se debe configurar primero como salida para generar el disparo y luego como entrada para leer la duración del ECO. La sentencia PULSIN de los controladores mas populares realiza esta reconfiguración de forma automática. Ver la figura 49.

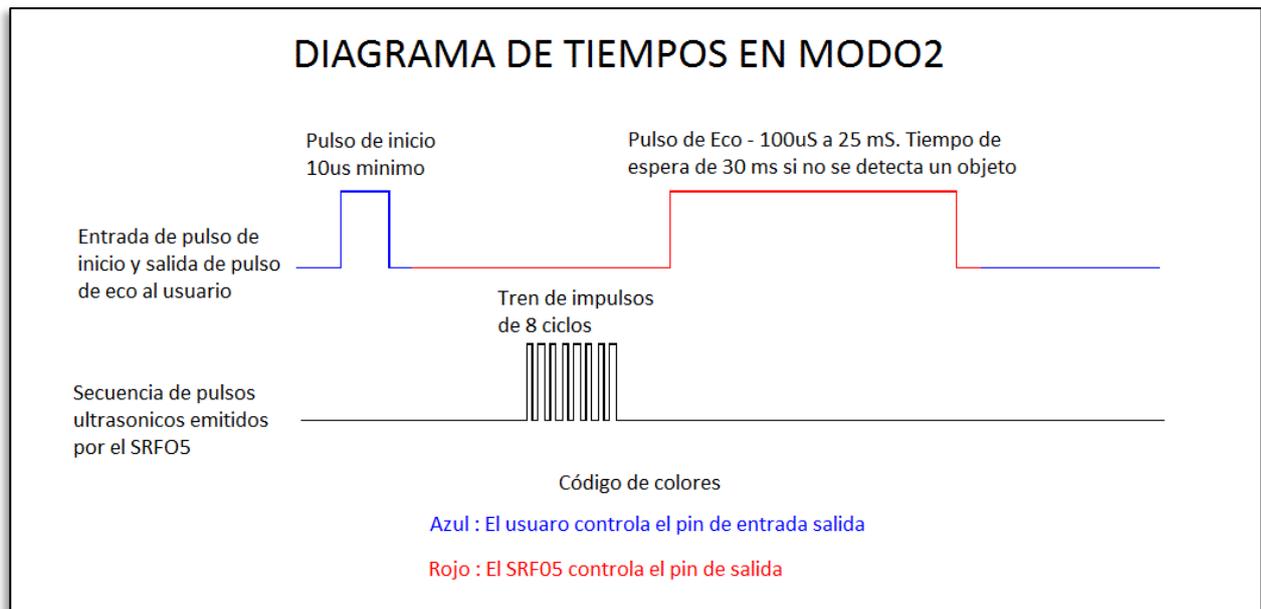


Figura 49 Diagrama de tiempos del SFR05 en Modo 2

Conexionado

El módulo emplea tan sólo 5 conexiones que se pueden realizar soldando directamente 5 cables o bien mediante un conector de 5 vías con paso de 2.54mm. Estas se muestran en la figura 50.

+5Vcc	Tensión positiva de alimentación
ECO	Salida del pulso cuya anchura determina el tiempo del recorrido de la señal ultrasónica
Disparo	Entrada de inicio de una nueva medida. Se aplica un pulso con una duración mínima de 10µs
Modo (N.C.)	Sin conexión se selecciona el modo 1 de compatibilidad con SRF04. Conectado a GND se selecciona el modo 2 de trabajo
GND	Tierra de alimentación.

Tabla 7 Conexiones del sensor SFR05

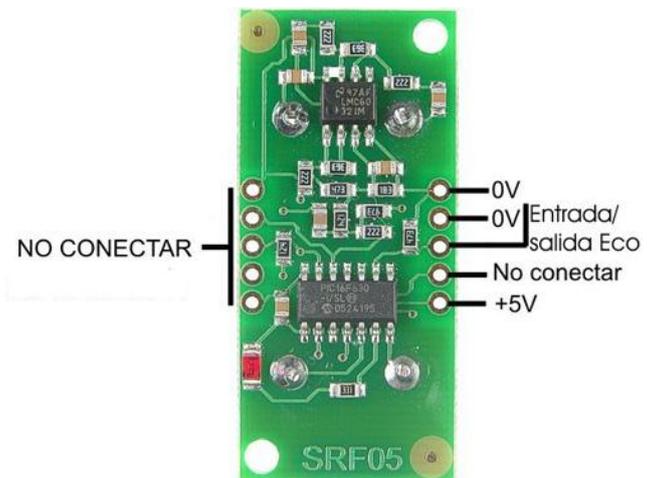


Figura 50 Conexiones del sensor SFR05

El módulo SRF05 viene perfectamente ajustado y calibrado de fábrica, por lo que no necesita de ningún tipo de ajuste. Su funcionamiento se puede verificar aplicando una serie de pulsos por la entrada de disparo. Con ayuda de un osciloscopio se puede medir la anchura de la señal eco de salida. Esta anchura, representada en µS y dividida entre 58.30 nos permite calcular la distancia del objeto.

En nuestro caso optamos por escoger el modo de trabajo N° 2, para poder así solo usar un cable de datos dejando así entradas libres en los puertos del PIC, tomando la precaución a la hora de programar de configurar el bit del puerto donde esta conectada como salida y posteriormente como entrada.



Capítulo 5

Sistema locomotor

5.1 Elección de sistema locomotor

El sistema locomotor es el encargado de proporcionar movimiento al robot.

Desde el punto de vista de la tracción, los robots pueden basar su movimiento en actuadores-piernas o en movimiento por rodadura. Se seleccionó el movimiento por rodadura porque proporciona sencillez y precisión.

Existen diferentes configuraciones de disposición de las ruedas sobre la base del robot. La clasificación más común se muestra a continuación:

Diferencial. Se caracteriza principalmente por su sencillez. Consta de dos ruedas situadas diametralmente opuestas en un eje perpendicular a la dirección del robot. Cada una de ellas está acoplada a un motor, por lo que pueden girar a distintas velocidades.

Triciclo. Este caso se compone de dos ruedas traseras a las que no se les acopla motor y una rueda delantera donde se produce la tracción, y que será la encargada de dirigir el robot. Esta configuración es fácil de implementar, pero algo inestable.

Ackerman. Posee dos ruedas motrices y dos directrices. Su característica principal radica en que cuando el robot gira, ambas ruedas directrices trazan circunferencias con el mismo centro. Esta configuración es energéticamente muy eficiente y permite giros a altas velocidades.

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. Esta configuración se caracteriza por ser mecánicamente compleja.

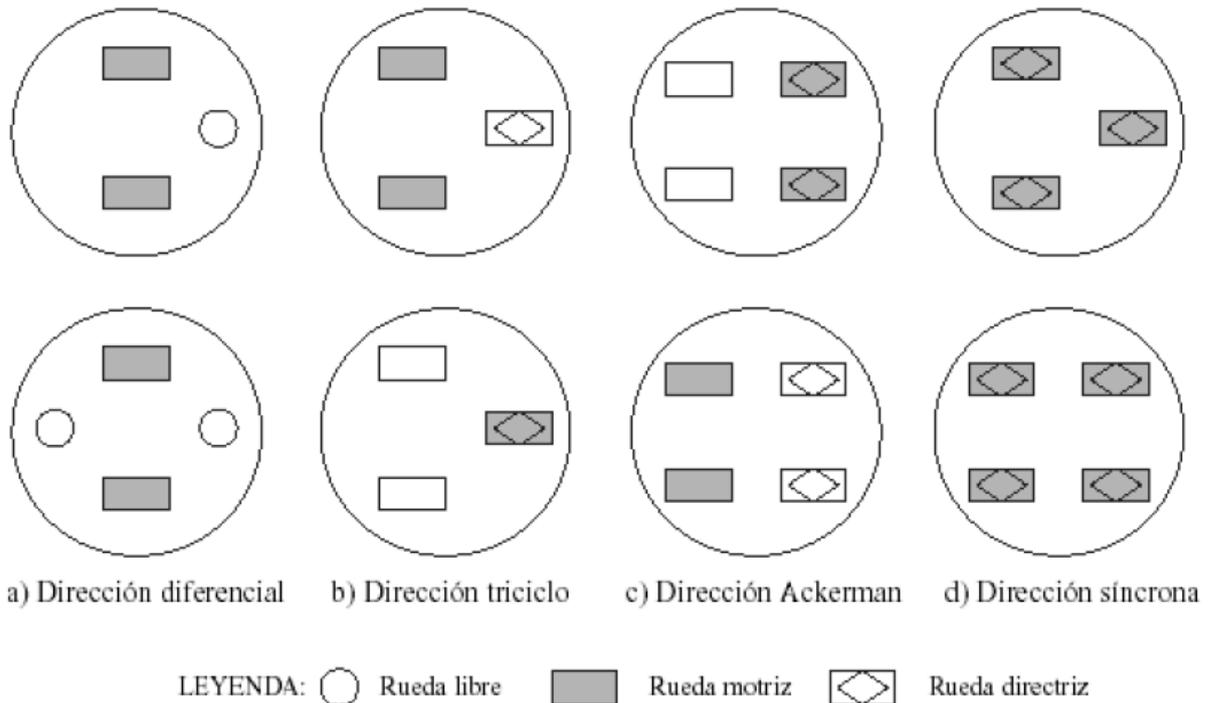


Figura 51 Tipos de tracción en robots

En este caso optamos por una configuración diferencial por dos motivos fundamentales. Por un lado permite generar un sistema de desplazamiento flexible y preciso, capaz de efectuar giros rápidos. Por otro lado, su sencillez mecánica facilita la adaptación de los motores a la base

5.2 Modificación de los servomotores

Para mover el robot utilizaremos motores de corriente continua. Los modelos convencionales son muy baratos pero tienen el inconveniente de que giran muy deprisa y tienen poca fuerza, por lo tanto, se hace necesario utilizar engranajes para conseguir más fuerza a costa de menor velocidad.

Una solución muy empleada es comprar servomecanismos, como por ejemplo los Futaba 3003 o compatibles, y modificarlos para convertirlos en motores de corriente continua con un reductor. Se pueden conseguir en cualquier tienda de aeromodelismo. Tienen una fuerza y velocidad muy adecuados para hacer pequeños robots móviles de aprendizaje que se puedan desplazar por superficies reducidas.

En el caso que hemos elegido, los servos Futaba 3003, solo tienen un ángulo de giro de 180 ° por eso se hace necesario modificarlos, que esencialmente es, despojarlos de su electrónica de control y topes mecánicos en su interior para que giren libremente.

Estos son los principales pasos que hemos seguido a la hora de modificar los servos:

-Paso 1 desmontaje del servo

Se procede a desmontar las dos tapas, bajo la superior se desmonta el grupo reductor y se reserva el engranaje **E1** para modificarlo posteriormente

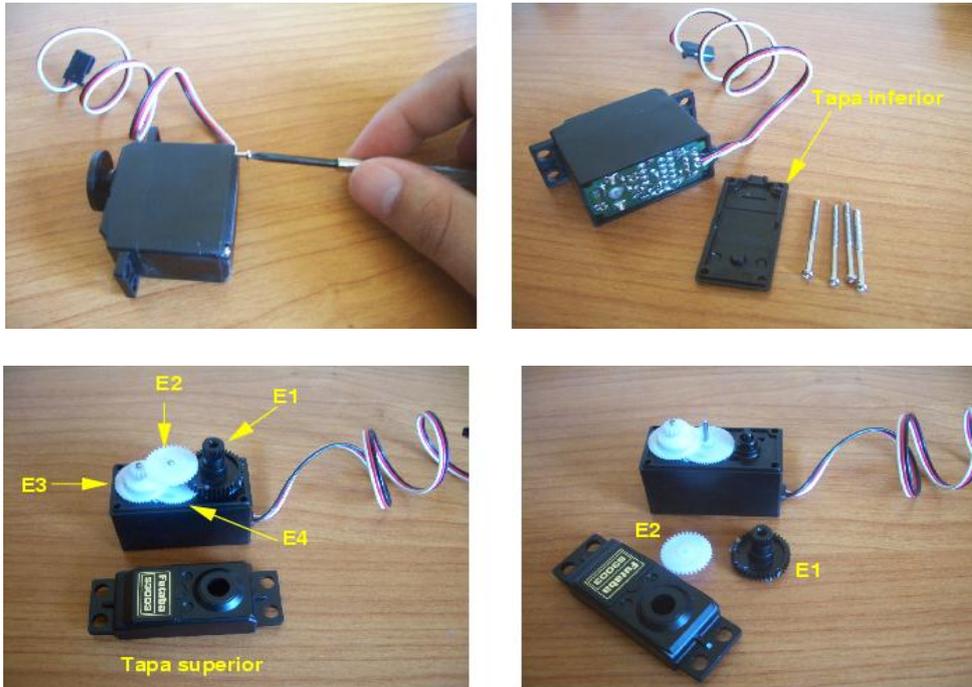


Figura 52 Desmontaje del servo

Paso 2: Extraer la electrónica y proceder a desoldar el motor poniéndole los mismos cables que le hemos extraído anteriormente

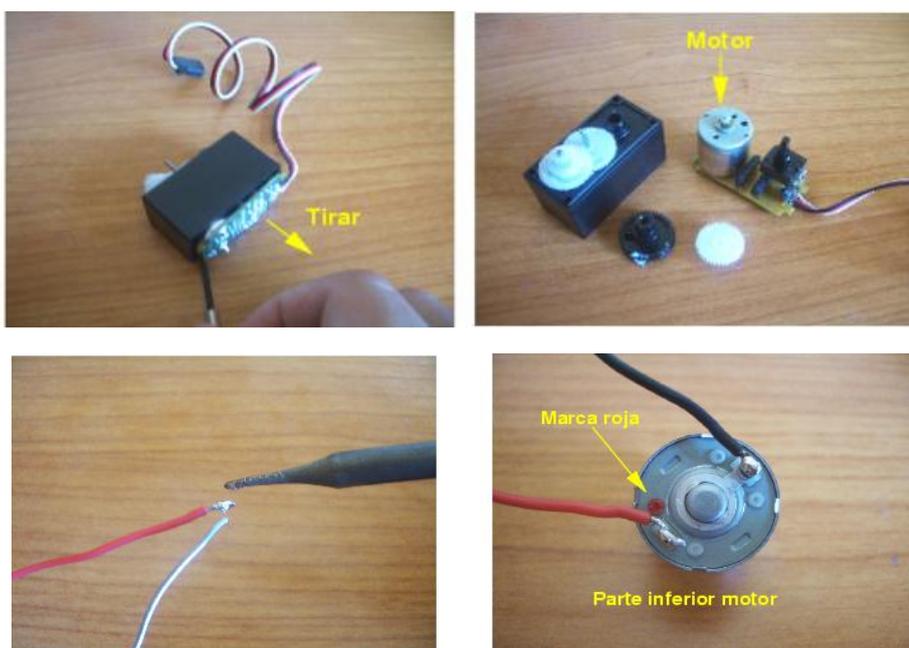


Figura 53 Extracción de la electrónica y soldadura de los nuevos conductores

Paso 3 :modificar el engranaje E1, cortando la pieza que le impide girar un ángulo superior a 180°

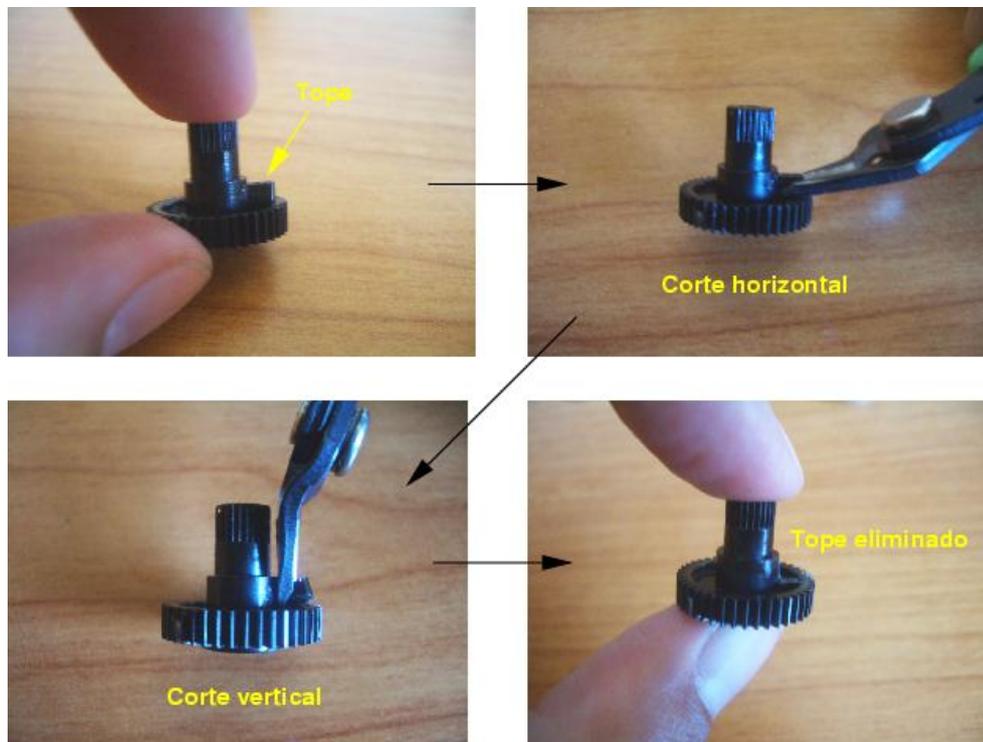


Figura 54 Modificación de el piñon

-Paso4:
correcto y cerrar ambas tapas.

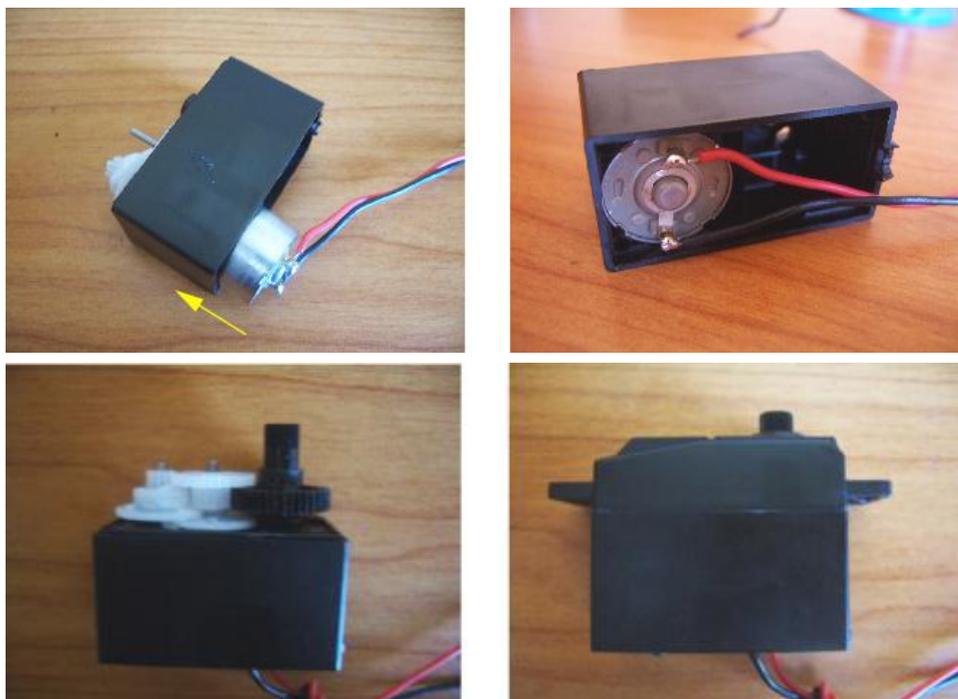


Figura 55 Montaje del servo ya modificado



Capítulo 6

Presupuesto

6.1 Costes de ejecución material

Los costes de ejecución incluyen todos los costes asociados a material de laboratorio, software y tiempo empleado para el desarrollo del proyecto

6.1.1 Costes por material electrónico

Se desglosan a continuación los costes asociados a cada prototipo por separado

6.1.2 Costes por material de laboratorio

Equipo	Medición	Precio Ud. €	Periodo de amortización, en años	Periodo de uso, en años	Precio Total €
Ordenador Asus serie A53S	1	649,00€	5	0,5	64,900€
Polímetro Valleman DVM9912	1	39,90€	8	0,5	2,40€
Soldador Electro DH mod. 03.047	1	20,00€	2	0,5	5,00€
Subtotal E quipo					72,30€

Tabla 8 Costes por material de laboratorio

6.1.3 Costes por material Software

Software	Medición	Precio Ud. €	Periodo de amortización, en años	Periodo de uso, en años	Precio Total €
Microsoft Windows 7 Home Premium	1	220,00€	2	0,5	55€
Paquete Office 2010	1	119,90€	2	0,5	29,75€
Subtotal Software					84,75€

Tabla 9 Costes por material software

6.1.4 Costes por material Hardware

Hardware	Medición	Precio Ud. €	Precio Total €
Placas de circuito impreso	20	5,60€	112,00€
Componentes electrónicos para la placa de control	10	11,90€	119,00€
Componentes electrónicos para placa de potencia	10	7,30€	73,00€
Sensores Ultrasonido SRF05	10	14,80€	148,00€
Sensores de luz LDR	10	0,80€	8,00€
Sensores de contacto Bumper	20	0,40€	8,00€
Sensores infrarrojos CNY70	40	0,88€	35,20€
Subtotal Hardware			503,20€

Tabla 10 Costes por material hardware

6.1.5 Coste por tiempo empleado

Función	Medición	Precio Ud. €	Precio Total €
Ingeniería	120	48,00€	5760,00€
Subtotal			5760,00€

Tabla 11 Coste por tiempo empleado

6.1.6 Coste total de presupuesto de ejecución

Concepto	Total €
Costes por Material de Laboratorio	72,30€
Costes por Material de Software	84,75€
Costes por Material de Hardware	503,20€
Costes por Tiempo Empleado	5760,00€
Subtotal	6420,25€

Tabla 12 Costes totales del presupuesto de ejecución

TOTAL COSTE PRESUPUESTO DE EJECUCION DE MATERIAL	6420,25€
---	-----------------

6.2 Honorarios de redacción

Se calculan como el 7% del presupuesto de ejecución material

HONORARIOS DE REDACCIÓN	449,41€
--------------------------------	----------------

6.3 Importe total del presupuesto

Concepto	Total €
Presupuesto por Ejecución	6420,25€
Honorarios por Redacción	449,41€
Total	6869,66€
+18% I.V.A.	8106,20€

Tabla 13 Importe total del presupuesto

“El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de:

OCHO MIL CIENTO SEIS CON VEINTE EUROS”

Leganés a 29 de Junio de 2012

El ingeniero proyectista

Fdo. Luis Carlos Jiménez Sánchez



Capítulo 7

Referencias

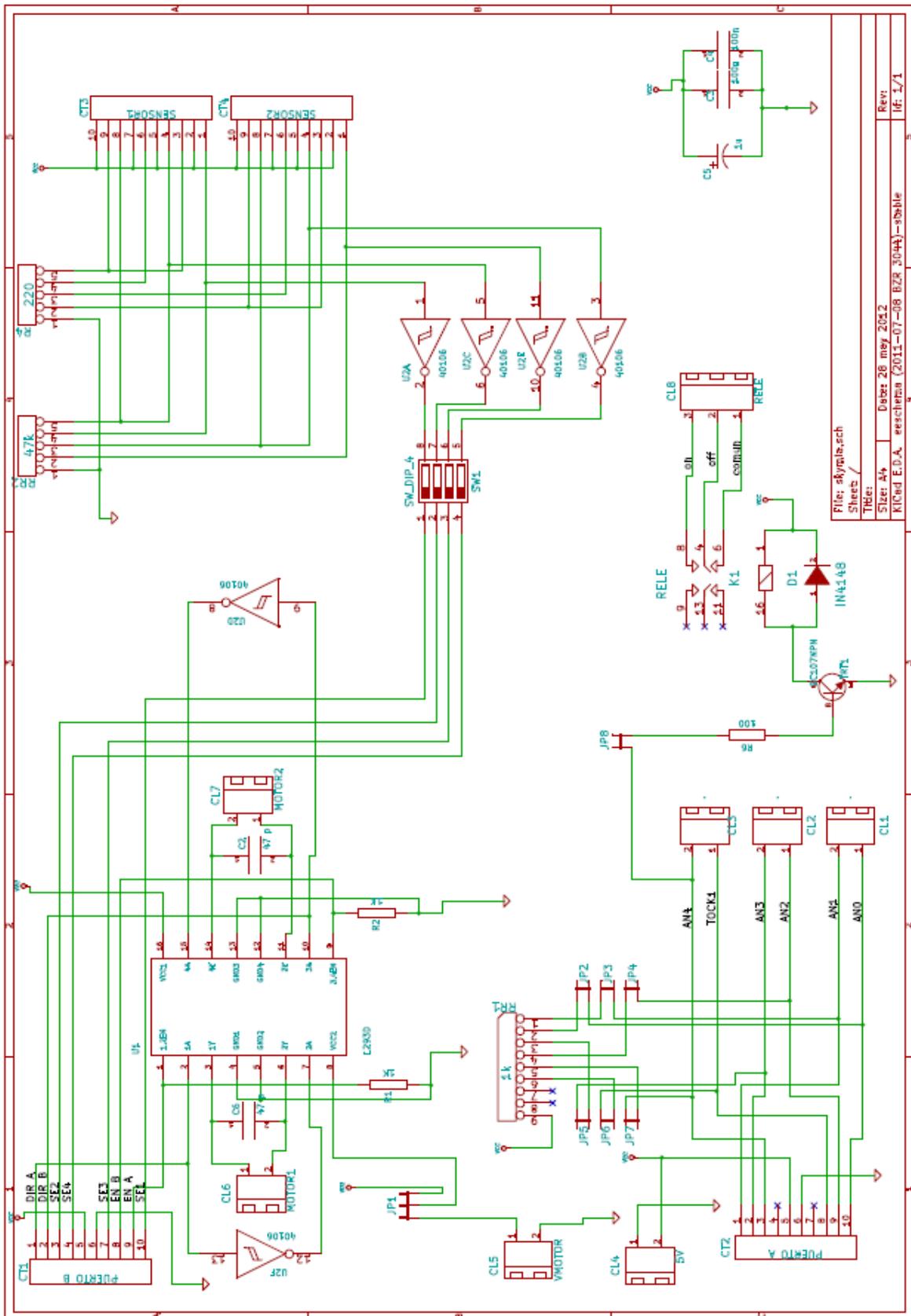


- [1]<http://es.wikipedia.org/wiki/Aut%C3%B3mata> [5/05/2012]
- [2]http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/automatas_en_la_historia.htm [10/04/2012]
- [3]<http://leonardo3.net/leonardo/home.htm>
- [4]<http://blog-italia.com/curiosidades/el-leon-mecanico-deleonardo-un-curioso-automatismo.html> [03/04/2012]
- [5]http://xlsemanal.finanzas.com/web/articulo.php?id=25117&id_edicion=2767&salto_pagina=1 [5/05/2012]
- [6]<http://es.wikipedia.org/wiki/Rob%C3%B3tica> [03/04/2012]
- [7]http://www.laflecha.net/perfiles/ciencia/isaac_asimov[2/03/2012]
- [8]Automatización Industrial II (I. T. I. Electrónica industrial).Transparencias[6/06/2011]
- [9]<http://www.intuitivesurgical.com/index.aspx> [5/05/2012]
- [10]<http://www.uco.es/~i02alruj/Microrobotica.htm> [10/04/2012]
- [11] <http://www.learobotics.com/wiki/index.php?title=Skybot> [20/06/2012]
- [12] <http://www.learobotics.com/wiki/index.php?title=Mini-Skybot> [20/06/2012]



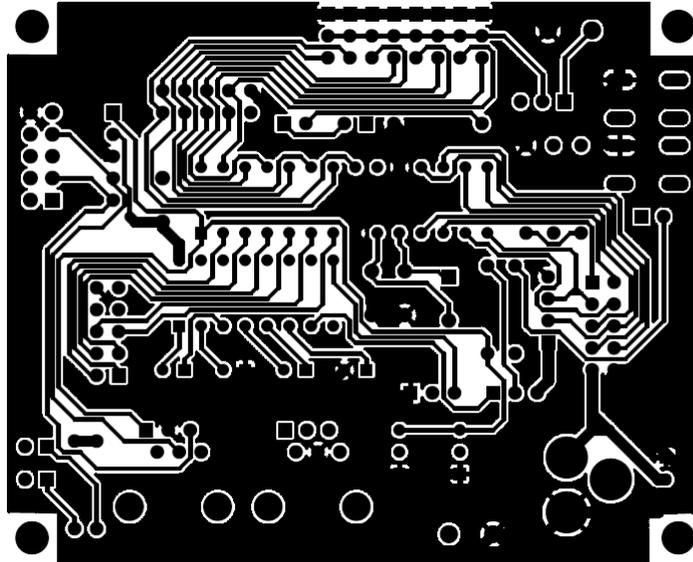
Capítulo 8

Anexos

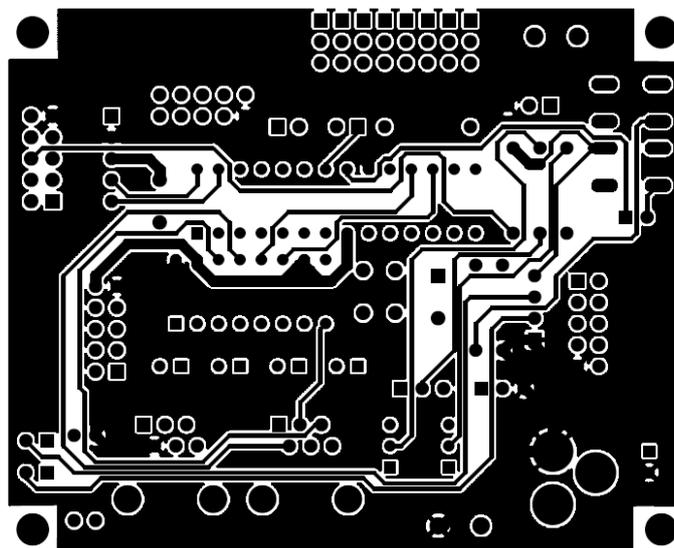


8.2 Gerbers

Placa de control

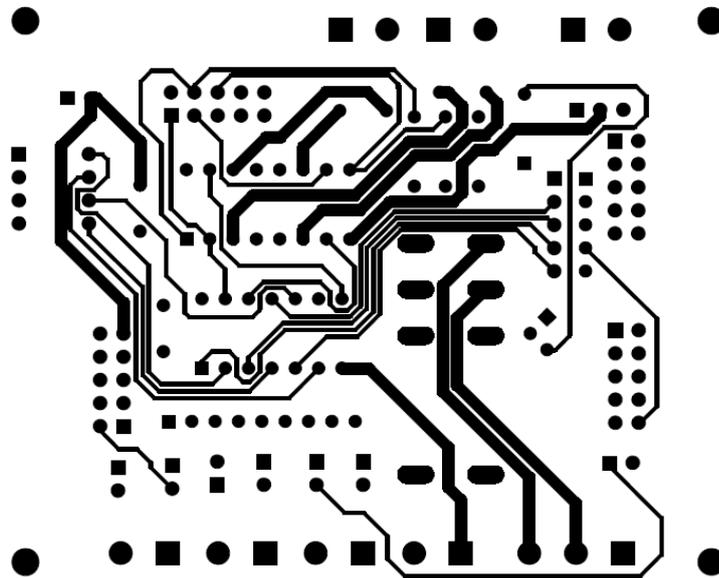


TOP

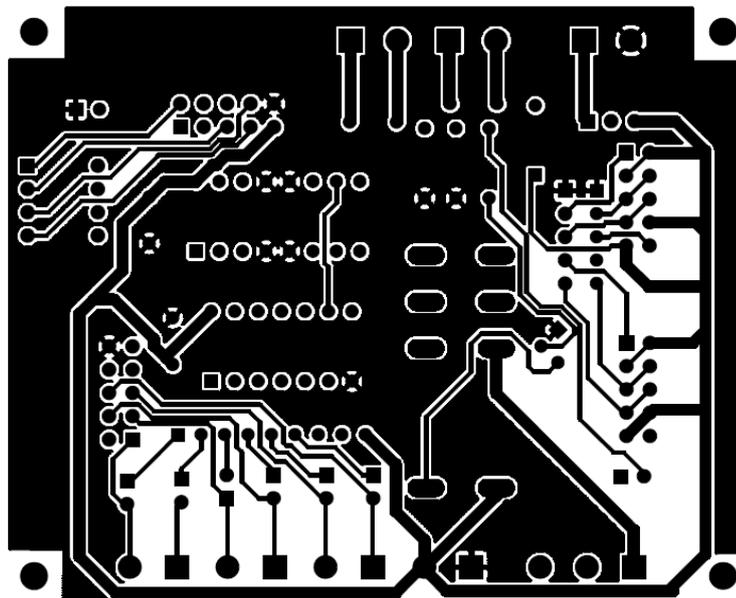


BOTTOM

Placa de potencia y polarización de los sensores



TOP

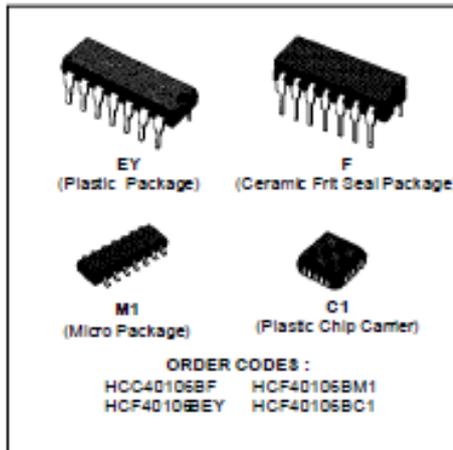


BOTTOM

8.3 Hojas de características

HEX SCHMITT TRIGGERS

- SCHMITT-TRIGGER ACTION WITH NO EXTERNAL COMPONENTS
- HYSTERESIS VOLTAGE (TYP.) 0.9V AT $V_{DD} = 5V$, 2.3V AT $V_{DD} = 10V$ AND 3.5V AT $V_{DD} = 15V$
- NOISE IMMUNITY GREATER THAN 50%
- NO LIMIT ON INPUT RISE AND FALL TIME
- LOW V_{DD} TO V_{SS} CURRENT DURING SLOW INPUT RAMP
- STANDARDIZED SYMMETRICAL OUTPUT CHARACTERISTICS
- QUIESCENT CURRENT SPECIFIED AT 20V FOR HCC DEVICE
- 5V, 10V, AND 15V PARAMETRIC RATINGS
- INPUT CURRENT OF 100nA AT 18V AND 25°C FOR HCC DEVICE
- 100% TESTED FOR QUIESCENT CURRENT
- MEETS ALL REQUIREMENTS OF JEDEC TENTATIVE STANDARD N° 13A, "STANDARD SPECIFICATIONS FOR DESCRIPTION OF "B" SERIES CMOS DEVICES"

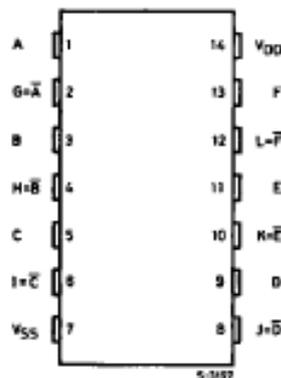


DESCRIPTION

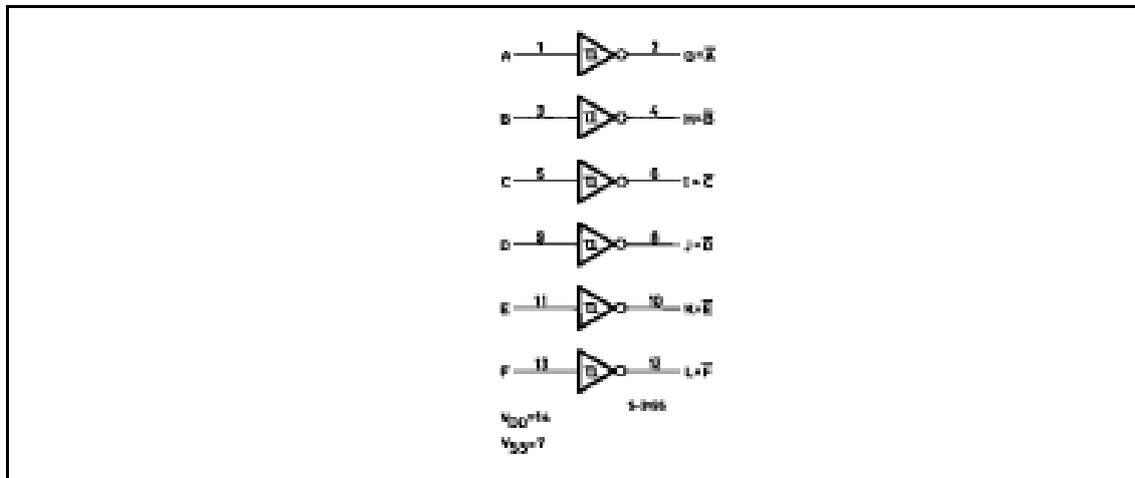
The HCC40106B (extended temperature range) and HCF40106B (intermediate temperature range) are monolithic integrated circuits, available in 14-lead dual in-line plastic or ceramic package and plastic micropackage.

The HCC/HCF40106B consists of six Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as an inverter with Schmitt-trigger action on the input. The trigger switches at different points for positive and negative-going signals. The difference between the positive-going voltage (V_F) and the negative-going voltage (V_N) is defined as hysteresis voltage (V_H).

PIN CONNECTIONS



FUNCTIONAL DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}^*	Supply Voltage : HCC Types HCF Types	- 0.5 to + 20 - 0.5 to + 18	V V
V_I	Input Voltage	- 0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
I_I	DC Input Current (any one input)	± 10	mA
P_{tot}	Total Power Dissipation (per package) Dissipation per Output Transistor for T_{op} = Full Package-temperature Range	200 100	mW mW
T_{op}	Operating Temperature : HCC Types HCF Types	- 55 to + 125 - 40 to + 85	$^{\circ}$ C $^{\circ}$ C
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	$^{\circ}$ C

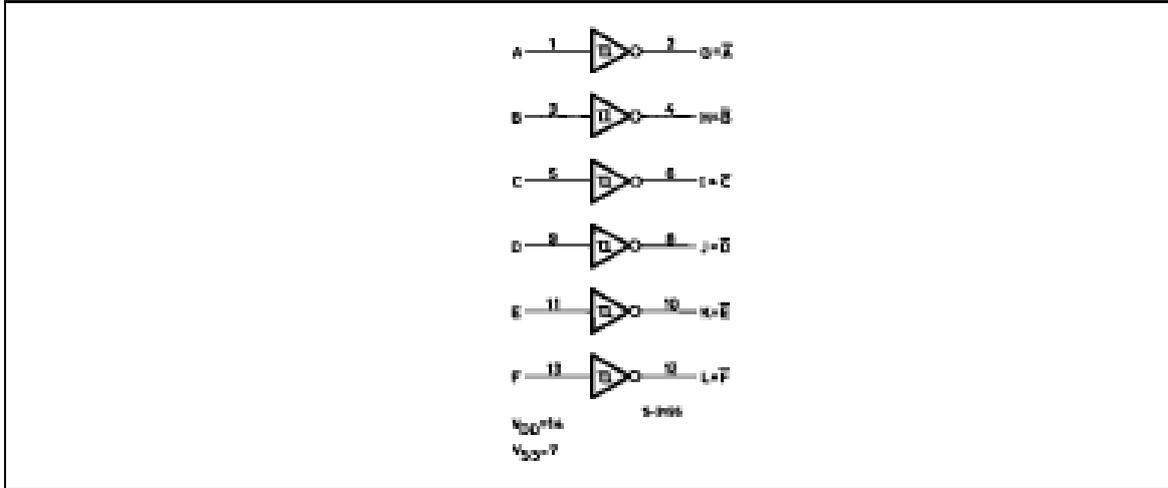
Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

* All voltage values are referred to V_{ss} pin voltage.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	Supply Voltage : HCC Types HCF Types	3 to 18 3 to 15	V V
V_I	Input Voltage	0 to V_{DD}	V
T_{op}	Operating Temperature : HCC Types HCF Types	- 55 to + 125 - 40 to + 85	$^{\circ}$ C $^{\circ}$ C

FUNCTIONAL DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}^*	Supply Voltage : HCG Types HCF Types	- 0.5 to + 20 - 0.5 to + 18	V
V_I	Input Voltage	- 0.5 to $V_{DD} + 0.5$	V
I_I	DC Input Current (any one input)	± 10	mA
P_{tot}	Total Power Dissipation (per package)	200	mW
	Dissipation per Output Transistor for T_{op} = Full Package-temperature Range	100	mW
T_{op}	Operating Temperature : HCG Types	- 55 to + 125	$^{\circ}$ C
	HCF Types	- 40 to + 85	$^{\circ}$ C
T_{stg}	Storage Temperature	- 65 to + 150	$^{\circ}$ C

Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

* All voltage values are referred to V_{SS} pin voltage.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{DD}	Supply Voltage : HCG Types	3 to 18	V
	HCF Types	3 to 15	V
V_I	Input Voltage	0 to V_{DD}	V
T_{op}	Operating Temperature : HCG Types	- 55 to + 125	$^{\circ}$ C
	HCF Types	- 40 to + 85	$^{\circ}$ C

STATIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions				Value						Unit		
		V _I (V)	V _O (V)	|I _O| (μ A)	V _{DD} (V)	T _{Low} *		25°C			T _{High} *			
						Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.		Max.	
I _{OH}	Output Drive Current	HCC Types	0/ 5	2.5		5	- 2		- 1.6	- 3.2		- 1.15	mA	
			0/ 5	4.6		5	- 0.64		- 0.51	- 1		- 0.36		
			0/10	9.5		10	- 1.6		- 1.3	- 2.6		- 0.9		
			0/15	13.5		15	- 4.2		- 3.4	- 6.8		- 2.4		
		HCF Types	0/ 5	2.5		5	- 1.53		- 1.36	- 3.2		- 1.1		mA
			0/ 5	4.6		5	- 0.52		- 0.44	- 1		- 0.36		
			0/10	9.5		10	- 1.3		- 1.1	- 2.6		- 0.9		
			0/15	13.5		15	- 3.6		- 3.0	- 6.8		- 2.4		
I _{OL}	Output Sink Current	HCC Types	0/ 5	0.4		5	0.64		0.51	1		0.36	mA	
			0/10	0.5		10	1.6		1.3	2.6		0.9		
			0/15	1.6		15	4.2		3.4	6.8		2.4		
		HCF Types	0/ 5	0.4		5	0.52		0.44	1		0.36		mA
			0/10	0.5		10	1.3		1.1	2.6		0.9		
			0/15	1.5		15	3.6		3.0	6.8		2.9		
I _{ih} , I _{il} **	Input Leakage Current	HCC Types	0/15	Any Input	18		± 0.1		$\pm 10^{-5}$	± 0.1		± 1	μ A	
		HCF Types	0/15		15		± 0.3		$\pm 10^{-5}$	± 0.3		± 1		
C _I	Input Capacitance		Any Input						5	7.5		p		

* T_{Low} = - 55°C for HCC device ; - 40°C for HCF device.

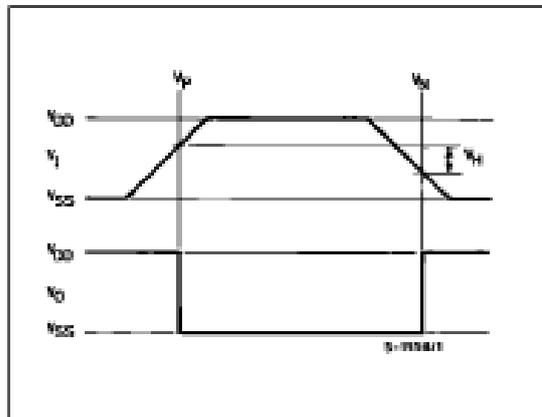
* T_{High} = + 125°C for HCC device ; + 85°C for HCF device.

DYNAMIC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{amb} = 25°C, C_L = 50pF, R_L = 200k Ω , typical temperature coefficient for all V_{DD} values is 0.3%/°C, all input rise and fall time = 20ns)

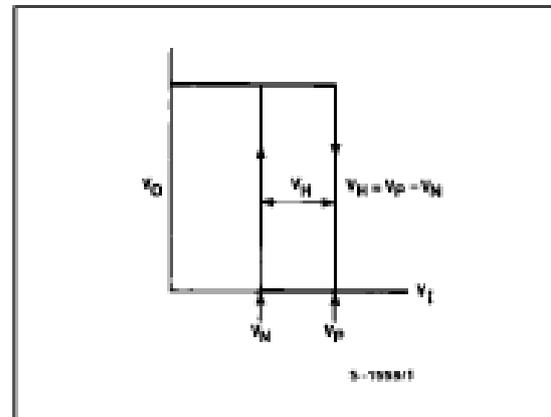
Symbol	Parameter	Test Conditions		Value			Unit
			V _{DD} (V)	Min.	Typ.	Max.	
t _{PLH} , t _{PHL}	Propagation Delay Time		5		140	280	ns
			10		70	140	
			15		60	120	
t _{THL} , t _{TLH}	Transition Time		5		100	200	ns
			10		50	100	
			15		40	80	

HYSTERESIS DEFINITION, CHARACTERISTICS AND TEST SETUP

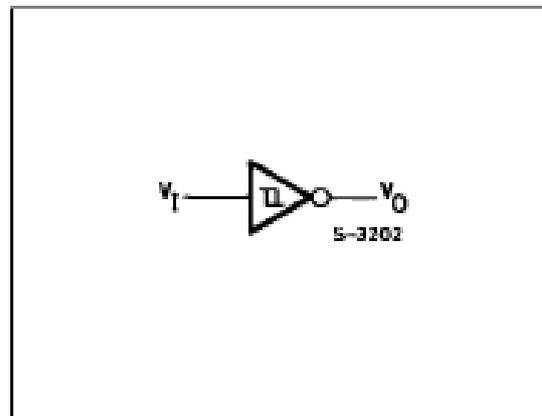
(a) Definition of V_P , V_N and V_H .



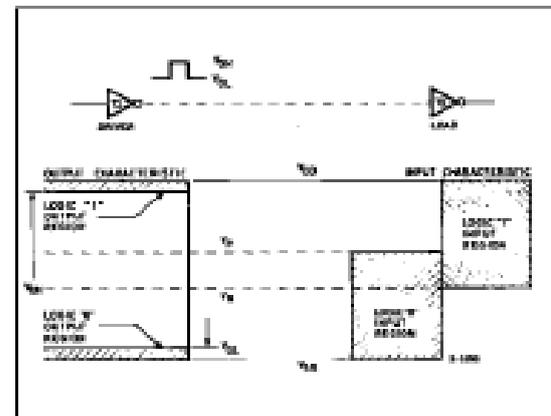
(b) Transfer Characteristic of 1 of 6 gates.



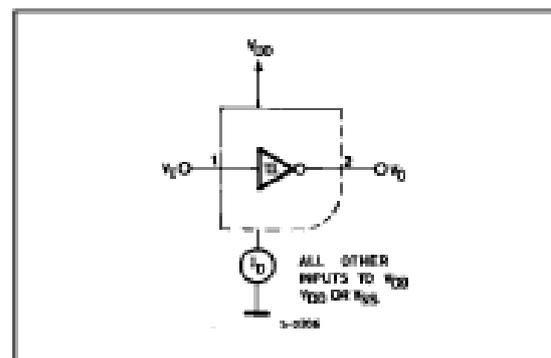
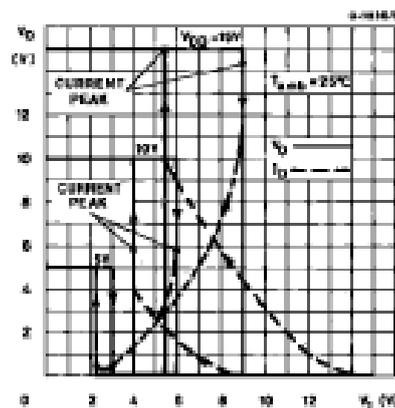
(c) Test Setup.



Input and Output Characteristics.

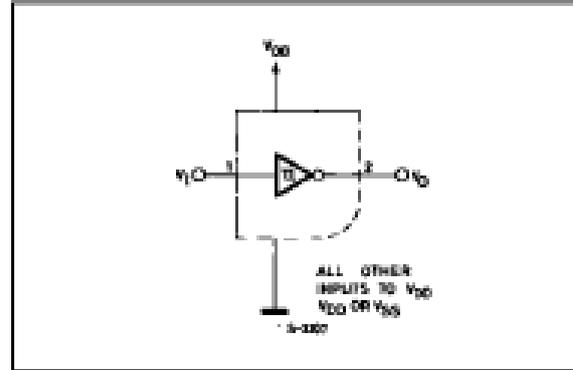
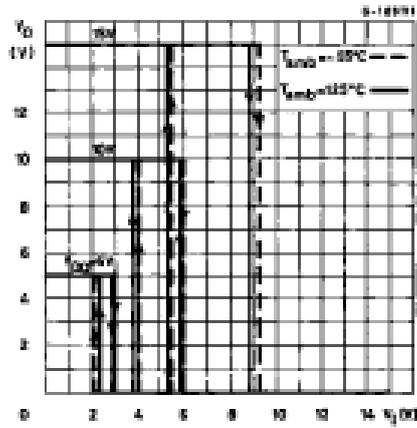


Typical Current Voltage Transfer Characteristics, and Test Circuit.

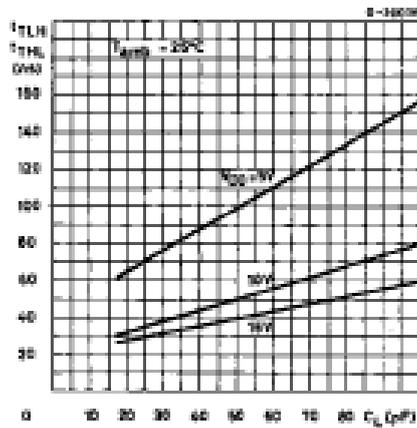


HYSTERESIS DEFINITION, CHARACTERISTICS AND TEST SETUP

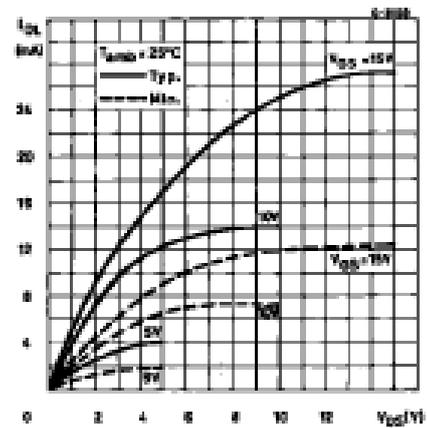
Typical Voltage Transfer Characteristics vs. Temperature, and Test Circuit.



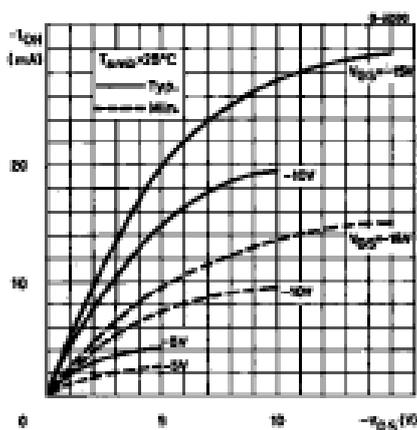
Typical Transition Time vs. Load Capacitance.



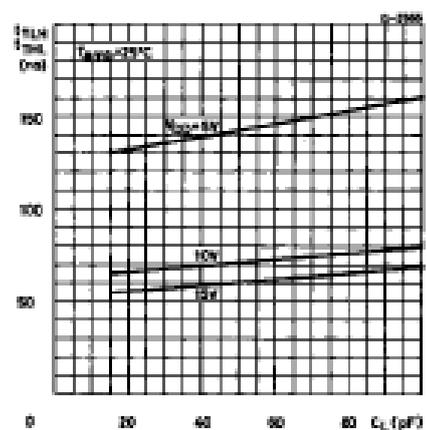
Output Low (sink) Current Characteristics.



Output High (source) Current Characteristics.



Typical Propagation Delay Time vs. Load Capacitance.



L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008B – SEPTEMBER 1988 – REVISED JUNE 2002

- Featuring Unitrode L293 and L293D Products Now From Texas Instruments
- Wide Supply-Voltage Range: 4.5 V to 36 V
- Separate Input-Logic Supply
- Internal ESD Protection
- Thermal Shutdown
- High-Noise-Immunity Inputs
- Functional Replacements for SGS L293 and SGS L293D
- Output Current 1 A Per Channel (600 mA for L293D)
- Peak Output Current 2 A Per Channel (1.2 A for L293D)
- Output Clamp Diodes for Inductive Transient Suppression (L293D)

description

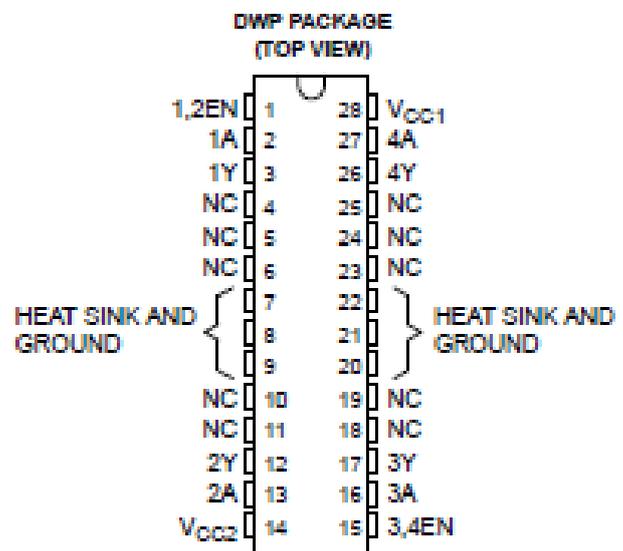
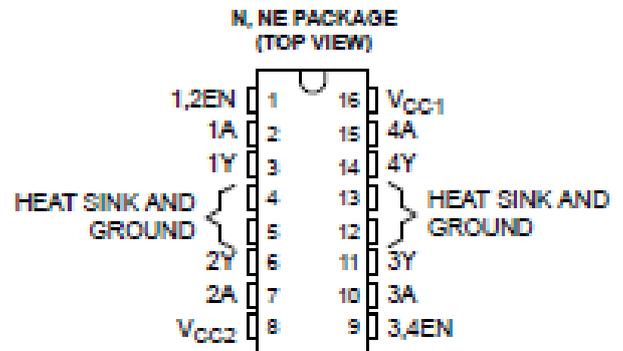
The L293 and L293D are quadruple high-current half-H drivers. The L293 is designed to provide bidirectional drive currents of up to 1 A at voltages from 4.5 V to 36 V. The L293D is designed to provide bidirectional drive currents of up to 600-mA at voltages from 4.5 V to 36 V. Both devices are designed to drive inductive loads such as relays, solenoids, dc and bipolar stepping motors, as well as other high-current/high-voltage loads in positive-supply applications.

All inputs are TTL compatible. Each output is a complete totem-pole drive circuit, with a Darlington transistor sink and a pseudo-Darlington source. Drivers are enabled in pairs, with drivers 1 and 2 enabled by 1,2EN and drivers 3 and 4 enabled by 3,4EN. When an enable input is high, the associated drivers are enabled and their outputs are active and in phase with their inputs. When the enable input is low, those drivers are disabled and their outputs are off and in the high-impedance state. With the proper data inputs, each pair of drivers forms a full-H (or bridge) reversible drive suitable for solenoid or motor applications.

On the L293, external high-speed output clamp diodes should be used for inductive transient suppression.

A V_{CC1} terminal, separate from V_{CC2} , is provided for the logic inputs to minimize device power dissipation.

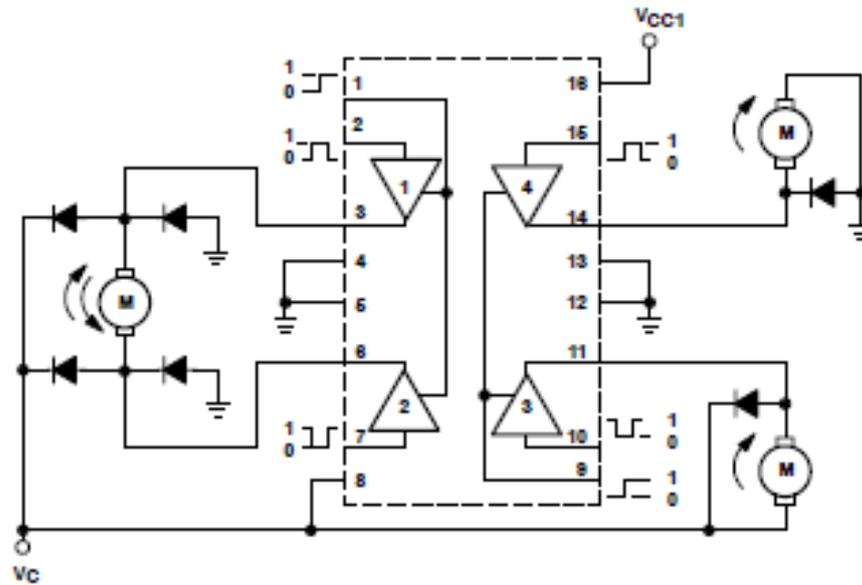
The L293 and L293D are characterized for operation from 0°C to 70°C.



L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008B – SEPTEMBER 1986 – REVISED JUNE 2002

block diagram



NOTE: Output diodes are internal in L293D.

TEXAS INSTRUMENTS AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGE
	PLASTIC DIP (NE)
0°C to 70°C	L293NE L293DNE

Unitrode Products from Texas Instruments

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES	
	SMALL OUTLINE (DWP)	PLASTIC DIP (N)
0°C to 70°C	L293DWP L293DDWP	L293N L293DN

The DWP package is available taped and reeled. Add the suffix TR to device type (e.g., L293DWPTR).

L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008B – SEPTEMBER 1986 – REVISED JUNE 2002

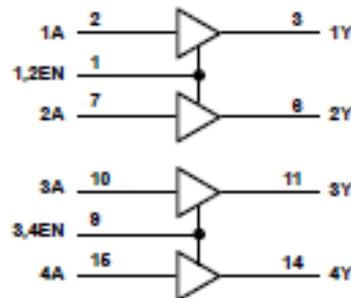
FUNCTION TABLE
(each driver)

INPUTS ^T		OUTPUT
A	EN	Y
H	H	H
L	H	L
X	L	Z

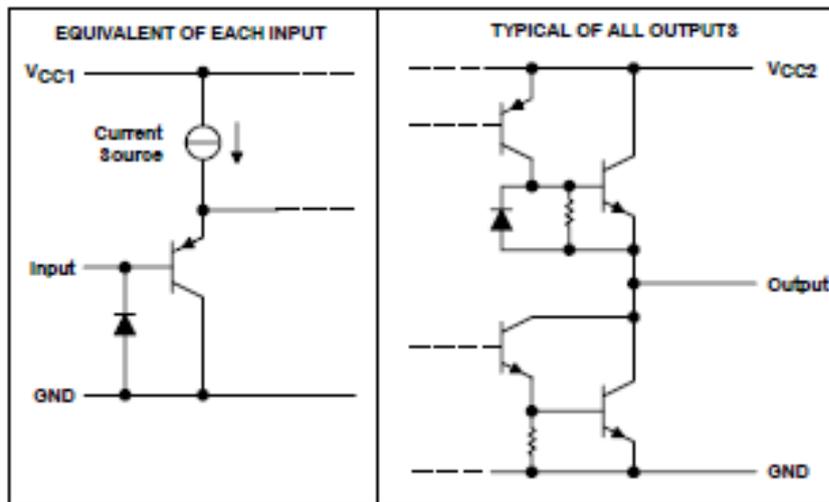
H = high level, L = low level, X = irrelevant,
Z = high impedance (off)

^T In the thermal shutdown mode, the output is
in the high-impedance state, regardless of
the input levels.

logic diagram



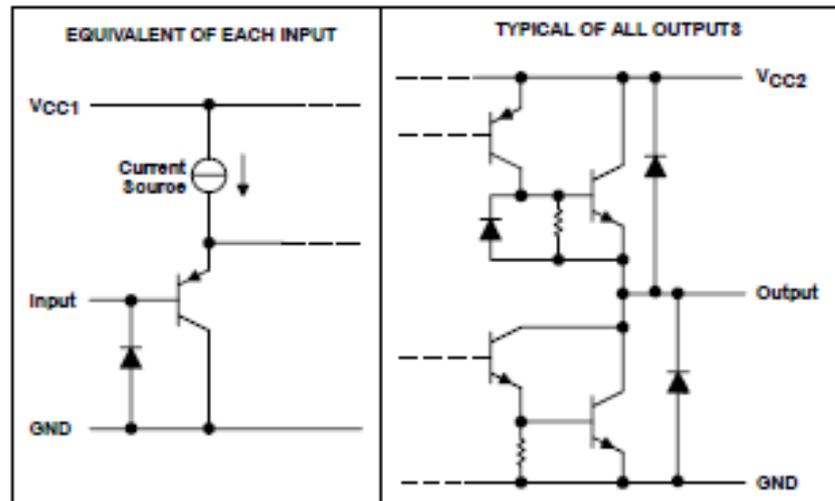
schematics of inputs and outputs (L293)



L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLR0008B – SEPTEMBER 1988 – REVISED JUNE 2002

schematics of inputs and outputs (L293D)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Supply voltage, V_{CC1} (see Note 1)	36 V
Output supply voltage, V_{CC2}	36 V
Input voltage, V_I	7 V
Output voltage range, V_O	-3 V to $V_{CC2} + 3$ V
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \leq 5$ ms): L293	± 2 A
Peak output current, I_O (nonrepetitive, $t \leq 100 \mu\text{s}$): L293D	± 1.2 A
Continuous output current, I_O : L293	± 1 A
Continuous output current, I_O : L293D	± 600 mA
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Notes 2 and 3)	2075 mW
Continuous total dissipation at 80°C case temperature (see Note 3)	5000 mW
Maximum junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

- NOTES:
- All voltage values are with respect to the network ground terminal.
 - For operation above 25°C free-air temperature, derate linearly at the rate of 16.6 mW/°C.
 - For operation above 25°C case temperature, derate linearly at the rate of 71.4 mW/°C. Due to variations in individual device electrical characteristics and thermal resistance, the built-in thermal overload protection may be activated at power levels slightly above or below the rated dissipation.

L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLR5008B – SEPTEMBER 1986 – REVISED JUNE 2002

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	V _{CC1}	4.5	7	V
	V _{CC2}	V _{CC1}	36	
V _{IH} High-level input voltage	V _{CC1} ≤ 7 V	2.3	V _{CC1}	V
	V _{CC1} ≥ 7 V	2.3	7	V
V _{IL} Low-level output voltage		-0.3 [†]	1.5	V
T _A Operating free-air temperature		0	70	°C

[†] The algebraic convention, in which the least positive (most negative) designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels.

electrical characteristics, V_{CC1} = 5 V, V_{CC2} = 24 V, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{OH} High-level output voltage		L293: I _{OH} = -1 A L293D: I _{OH} = -0.6 A		V _{CC2} -1.8	V _{CC2} -1.4		V
V _{OL} Low-level output voltage		L293: I _{OL} = 1 A L293D: I _{OL} = 0.6 A			1.2	1.8	V
V _{OKH} High-level output clamp voltage		L293D: I _{OK} = -0.6 A			V _{CC2} + 1.3		V
V _{OKL} Low-level output clamp voltage		L293D: I _{OK} = 0.6 A			1.3		V
I _{IH} High-level input current	A	V _I = 7 V			0.2	100	μA
	EN				0.2	10	
I _{IL} Low-level input current	A	V _I = 0			-3	-10	μA
	EN				-2	-100	
I _{CC1} Logic supply current	I _O = 0	All outputs at high level			13	22	mA
		All outputs at low level			35	60	
		All outputs at high impedance			8	24	
I _{CC2} Output supply current	I _O = 0	All outputs at high level			14	24	mA
		All outputs at low level			2	6	
		All outputs at high impedance			2	4	

switching characteristics, V_{CC1} = 5 V, V_{CC2} = 24 V, T_A = 25°C

PARAMETER	TEST CONDITIONS	L293NE, L293DNE			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output from A input	C _L = 30 pF, See Figure 1		800		ns
t _{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output from A input			400		ns
t _{TLH} Transition time, low-to-high-level output			300		ns
t _{THL} Transition time, high-to-low-level output			300		ns

switching characteristics, V_{CC1} = 5 V, V_{CC2} = 24 V, T_A = 25°C

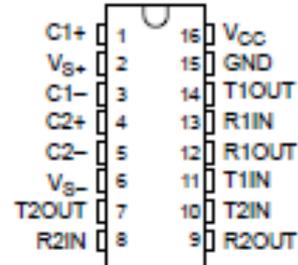
PARAMETER	TEST CONDITIONS	L293DWP, L293N L293DDWP, L293DN			UNIT
		MIN	TYP	MAX	
t _{PLH} Propagation delay time, low-to-high-level output from A input	C _L = 30 pF, See Figure 1		750		ns
t _{PHL} Propagation delay time, high-to-low-level output from A input			200		ns
t _{TLH} Transition time, low-to-high-level output			100		ns
t _{THL} Transition time, high-to-low-level output			350		ns

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLL8047I – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

- Meet or Exceed TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operate With Single 5-V Power Supply
- Operate Up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ± 30 -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- ESD Protection Exceeds JESD 22 – 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Applications
 - TIA/EIA-232-F
 - Battery-Powered Systems
 - Terminals
 - Modems
 - Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube	MAX232N	MAX232N
	SOIC (D)	Tube	MAX232D	MAX232
		Tape and reel	MAX232DR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232DW	MAX232
		Tape and reel	MAX232DWR	
SOP (NS)	Tape and reel	MAX232NSR	MAX232	
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube	MAX232IN	MAX232IN
	SOIC (D)	Tube	MAX232ID	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232IDW	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLL5047I - FEBRUARY 1989 - REVISED OCTOBER 2002

Function Tables

EACH DRIVER

INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

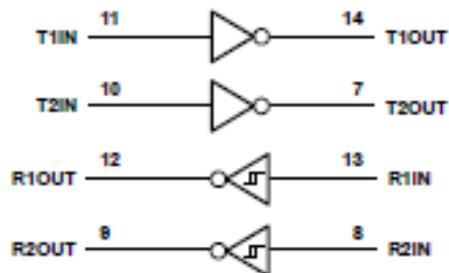
H = high level, L = low level

EACH RECEIVER

INPUT RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

logic diagram (positive logic)



MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)[†]

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	.....	-0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}$	.....	V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	.....	-0.3 V to -15 V
Input voltage range, V_I : Driver	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	± 30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	.....	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	.....	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	.....	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	.....	73°C/W
DW package	.....	57°C/W
N package	.....	67°C/W
NS package	.....	64°C/W
Lead temperature 1,8 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	.....	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	.....	-65°C to 150°C

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JEDEC 51-7.

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	V
V_{IH}	High-level input voltage (T1IN, T2IN)	2			V
V_{IL}	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)			0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage			± 30	V
T_A	Operating free-air temperature	MAX232	0	70	°C
		MAX232I	-40	85	

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 3 and Figure 4)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP [‡]	MAX	UNIT	
I_{CC}	Supply current			8	10	mA

[‡] All typical values are at $V_{CC} = 5$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTE 3: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at $V_{CC} = 5 \text{ V} \pm 0.5 \text{ V}$.

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

91L50471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

DRIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT	$R_L = 3\text{ k}\Omega$ to GND	5	7		V
V_{OL}	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT	$R_L = 3\text{ k}\Omega$ to GND		-7	-5	V
r_o	Output resistance	T1OUT, T2OUT	$V_{S+} = V_{S-} = 0, V_O = \pm 2\text{ V}$	300			Ω
$I_{OB}§$	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT	$V_{CC} = 5.5\text{ V}, V_O = 0$		± 10		mA
I_{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN	$V_I = 0$			200	μA

† All typical values are at $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = $1\text{ }\mu\text{F}$ at $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$.

switching characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate	$R_L = 3\text{ k}\Omega$ to $7\text{ k}\Omega$, See Figure 2			30	V/ μs
SR(t)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/ μs
	Data rate	One TOUT switching		120		kbit/s

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = $1\text{ }\mu\text{F}$ at $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$.

RECEIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{OH}	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT	$I_{OH} = -1\text{ mA}$	3.5			V
V_{OL}	Low-level output voltage‡	R1OUT, R2OUT	$I_{OL} = 3.2\text{ mA}$			0.4	V
V_{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	$V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$		1.7	2.4	V
V_{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN	$V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	0.8	1.2		V
V_{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN	$V_{CC} = 5\text{ V}$	0.2	0.5	1	V
r_i	Receiver input resistance	R1IN, R2IN	$V_{CC} = 5, T_A = 25^\circ\text{C}$	3	5	7	$\text{k}\Omega$

† All typical values are at $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = $1\text{ }\mu\text{F}$ at $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$.

switching characteristics, $V_{CC} = 5\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$ (see Note 3 and Figure 1)

PARAMETER		TYP	UNIT
$t_{PLH(R)}$	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	500	ns
$t_{PHL(R)}$	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	500	ns

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = $1\text{ }\mu\text{F}$ at $V_{CC} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$.