

Resum

Al llarg d'aquest projecte es desenvolupa la construcció d'un microrobot i d'una plataforma per a l'estudi de comportaments en robòtica mòbil que té com ús final la docència a partir d'una placa de desenvolupament de sistemes basada en el microcontrolador 80c552.

Per a la consecució dels objectius s'ha dissenyat un prototipus dotat d'actuadors (dos servomotors que accionen una configuració cinemàtica diferencial mitjançant dues rodes motrius) i sensors (dos sensors d'infrarojos, sis sensors de contacte i un transreceptor per a una comunicació mitjançant ones de ràdio).

Per la seva part la plataforma consta de tres parts diferenciades: un carregador de bateries de NiMH, un mòdul de ràdio per a la comunicació half-duplex entre el microrobot i una computadora que disposa de port sèrie i una petita interfície de control per a poder monitoritzar l'estat del robot.

Les solucions presentades al llarg del projecte no són úniques, ja que en tot moment s'ha intentat arribar a un compromís que equilibrés el triangle format pel cost econòmic dels components utilitzats, els recursos disponibles de la placa de desenvolupament basada en el 80C552 i les prestacions ofertes per la plataforma i el microrobot.

Tant els codis del robot com de la plataforma són oberts. El primer es programa en C ANSI adaptat per a la família de microcontroladors C51, la interfície gràfica de la plataforma està realitzada amb Visual C++, i tots dos poden ser ampliats, modificats i millorats en funció de les noves prestacions amb que es vulguin dotar tant el robot com la plataforma.

També s'ha realitzat el control manual del robot com a demostració del funcionament del mateix mitjançant una funcionalitat de la plataforma i que utilitza un típic Joystick emprat en jocs i videoconsoles d'oci.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
Índex Figures:	5
Índex Taules:	6
1. GLOSSARI	7
1.1. GLOSSARI UNITATS	8
2. PREFACI	9
2.1. Origen del projecte	9
2.2. Motivació	9
2.3. Punt de Partida.....	10
3. INTRODUCCIÓ	13
3.1. Objectius del projecte.....	13
3.2. Localització del projecte i recursos disponibles.....	14
3.3. Classificació dels robots mòbils terrestres.....	14
3.4. Estudi de mercat actual.....	15
4. DISSENY DEL MICROROBOT MÒBIL	18
4.1. Recursos del 80C552.....	18
4.2. Característiques del robot.....	20
4.2.1. El xassís.....	20
4.2.2. Actuadors i configuracions cinemàtiques	20
4.2.3. Prestacions dels actuadors	21
4.2.4. Sensors.....	25
5. CONSTRUCCIÓ I DESENVOLUPAMENT	26
5.1. Plataforma- Estructura base	26
5.2. Motors	28
5.2.1. Tipus de motors	28
5.2.2. Circuit de Control dels motors	31
5.3. Encoders	35
5.3.1. Característiques bàsiques dels encoders.....	35
5.3.2. Encoder incremental òptic.....	37
5.4. Bumpers	39
5.4.1. Característiques bàsiques dels bumpers.....	39

5.4.2.	Configuració dels bumpers en el microrobot (“mappejat de ports”)	39
5.5.	Sensors Infrarojos	42
5.5.1.	Parallax o la triangulació	42
5.5.2.	SHARP GP2D12	44
5.6.	Font alimentació i Regulació	48
5.6.1.	LDO-Reguladors lineals de baixa tensió:	49
5.6.2.	Esquema de Regulació del microrobot.....	50
5.6.3.	Elecció de les bateries	55
5.7.	Disseny i construcció Electrònica del microrobot	58
6.	ENTORN DE LA PLATAFORMA	60
6.1.	Mòdul de Ràdio	60
6.1.1.	Comunicació sense fils	60
6.1.2.	Hardware de comunicació	61
6.1.3.	Mòdul de Ràdio PC	63
6.1.4.	Mòdul de Ràdio MicroRobot	66
6.1.5.	Software mòdul Ràdio	68
6.1.6.	Entorn visual de la plataforma	72
6.2.	Mòdul carregador de bateries	73
6.2.1.	Bateries de NiMH	73
6.2.2.	Tipus de Càrregues	74
6.2.3.	Finalització de la càrrega	75
6.2.4.	Placa carregadora de bateries.....	77
7.	MAPA DE MEMÒRIA I PROGRAMACIÓ DEL ROBOT	82
7.1.	Programació per a la família 80c51 C ANSI.....	82
7.2.	Organització memòria del microrobot.....	83
7.3.	Interrupcions	86
8.	PRESTACIONS FINALS MICROROBOT I PLATAFORMA	88
9.	ESTUDI ECONÒMIC	90
CONCLUSIONS	92
AGRAÏMENTS	94
BIBLIOGRAFIA	95
	Referències bibliogràfiques	95

Índex Taules i Figures

Índex Figures:

FIGURA 2-1. PLACA DE DESENVOLUPAMENT DE SISTEMES MICROCONTROLATS	10
FIGURA 2-2. FUNCIONALITATS PLACA D'AVUACIÓ	12
FIGURA 4-1. ESQUEMA FUNCIONAL MICRO 80C552.	19
FIGURA 4-2. CONFIGURACIONS CINEMÀTIQUES EN FUNCIÓ DE LES RODES MOTRIUS I DIRECTRIUS.	20
FIGURA 4-3. DIAGRAMA SIMPLE D'UN ROBOT MÒBIL LLIURE.	22
FIGURA 4-4. RODA D'AEROMODELISME.....	24
FIGURA 5-1. PLACA METACRILAT DE L'ESTRUCTURA BASE	27
FIGURA 5-2. ENGRANATGES DEL SERVOMOTOR / CIRCUIT CONTROL I POTENCIÒMETRE.....	29
FIGURA 5-3. PONT EN H.	32
FIGURA 5-4. CICLE DE TREBALL EN FUNCIÓ DEL PWM.....	34
FIGURA 5-5. ENCODER INCREMENTAL ÒPTIC	36
FIGURA 5-6. CIRCUIT D'APLICACIÓ PER AL PHOTOTRANSISTOR ES-SX1042.	37
FIGURA 5-7. MUNTATGE ENCODERS I PHOTOTRANSISTOR ES-SX1042.	38
FIGURA 5-8. ESQUEMA BÀSIC D'UN BUMPER.....	39
FIGURA 5-9. ESQUEMA CONTROL BUMPERS.....	40
FIGURA 5-10. ANGLE θ VARIABLE EN FUNCIÓ DE LA DISTÀNCIA DEL OBJECTE.	43
FIGURA 5-11. FUNCIONAMENT DEL SENSOR D'INFRAROJOS GP2D12.	44
FIGURA 5-12. VOLTATGE - DISTÀNCIA DEL OBJECTE REFLECTIT.	45
FIGURA 5-13. COL·LOCACIÓ DELS BUMPRES I DELS SENSOR IR.	47
FIGURA 5-14. REGULACIÓ EN PARAL·LEL DES D'UNA ÚNICA FONT ALIMENTACIÓ.	48
FIGURA 5-15. PODER DE DISSIPACIÓ DEL 7805.	51
FIGURA 5-16. ESQUEMA DE REGULACIÓ ETAPA DE POTÈNCIA.....	52
FIGURA 5-17. REGULACIÓ DE LA PRIMERA ETAPA DE POTÈNCIA. MIC29302.	54
FIGURA 5-18. VISTA SUPERIOR DE LA PLACA ELECTRÒNICA EN CONSTRUCCIÓ.....	58
FIGURA 5-19. VISTA INFERIOR DE LA PLACA ELECTRÒNICA EN CONSTRUCCIÓ.....	59
FIGURA 6-1. ESQUEMA GRÀFIC FUNCIONALITAT PLATAFORMA.....	60
FIGURA 6-2. ENVIAMENT D'UN BYTE MITJANÇANT EL PORT SÈRIE.....	63
FIGURA 6-3. ESQUEMA FUNCIONAL DEL MÒDUL DE RÀDIO DEL PC.	64
FIGURA 6-4. MÒDUL DE RÀDIO DEL PC.....	65
FIGURA 6-5. MÒDUL DE RÀDIO DEL MICROROBOT FONT: [8].....	66
FIGURA 6-6. MODIFICACIÓ PLACA DESENVOLUPAMENT – MÒDUL RÀDIO.....	67
FIGURA 6-7. FORMAT TRAMES DE DADES.	69
FIGURA 6-8. IMATGE VISUAL DE LA PLATAFORMA.....	72
FIGURA 6-9. PROCÉS CÀRREGA DE LES BATERIES DE NIMH.....	76
FIGURA 6-10. ESQUEMA BÀSIC PLACA CARREGADORA BATERIES.	78
FIGURA 6-11. PLACA CARREGADORA DE BATERIES	80
FIGURA 7-1. MAPA MEMÒRIA DEL MICROROBOT	84
FIGURA 7-2. MAPA INTERRUPCIONS 80C552 – MICROROBOT	87

Índex Taules:

TAULA 3-1. ESTUDI DE MERCAT ACTUAL.....	17
TAULA 5-1. CARACTERÍSTIQUES MOTOR “HITEC-422 DELUXE” EN FUNCIO DEL V D’ALIMENTACIO.....	31
TAULA 5-2. PRESTACIONS DIFERENTS TECNOLOGIES BATERIES FONT: [8].....	56
TAULA 9-1. RESUM COST ECONOMIC MICROROBOT + PLATAFORMA.....	90

1. Glossari

BUMPER: Sensor mecànic sense enclavament, generalment amb tres contactes, un comú, un normalment obert i un normalment tancat.

CMOS: Abreviatura de *complementary metal oxide semiconductor*. CMOS es el tipus de tecnologia de semiconductors més utilitzada en l'actualitat.

EEPROM: són les sigles de *electrically-erasable programmable read-only memory* (ROM programable i esborrable elèctricament).

EPROM: són les sigles de *Erasable Programmable Read-Only Memory* (Rom programable i esborrable mitjançant rajos ultraviolats).

FULL-DUPLEX: adjectiu que s'aplica a la comunicació que de forma simultània pot transmetre i rebre trames de dades.

JUMPER: element per connectar dos terminal de manera temporal sense haver d'efectuar una operació que requereixi una eina addicional, aquesta unió tanca el circuit elèctric del que forma part.

MEMÒRIA FLASH: és un tipus de memòria EEPROM que permet que s'esborrin o s'escriuin múltiples localitzacions de memòria en una operació de programació.

PAL: Les pals (PAL respon a les sigles en anglès de *program logic array*) són els dispositius lògics programables més senzills i estan formats de forma genèrica per una matriu de portes *or* i *and*. S'esborren i es programen de forma elèctrica.

PWM: és el acrònim en anglès de *Power Width Modulation*. Tècnica generalment usada per al control de velocitat d'un motor de corrent contínua.

RAM: és el acrònim en anglès de *Random-Access Memory* (memòria d'accés aleatori).

ROM: és el acrònim de *Read-Only Memory* (memòria de només lectura).

TTL: Acrònim en anglès de *T*ransistor-*T*ransistor *L*ogic" o "Lógica Transistor a Transistor". Tecnologia de construcció de circuits electrònics digitals.

UART: acrònim en anglès de "*Universal Asynchronous Receiver-Transmitter*". Circuit integrat que permet transmetre i rebre informació mitjançant una comunicació sèrie.

1.1. GLOSSARI UNITATS

- A. unitat de intensitat de corrent elèctrica.
- F. unitat de força.
- Hz. hertz. És la unitat per a la freqüència.
- Kg. unitat de massa.
- m. unitat de distància.
- m/s. unitat de velocitat.
- m/s². unitat d'acceleració.
- Nm. unitat per al parell motor.
- V. unitat per al potencial elèctric, força electromotriu i voltatge.
- W. Watt. És la unitat per a la potència.
- Ω unitat per a la resistència elèctrica Ohm.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

El projecte que es presenta sota aquest document neix sota l'acord entre el professor Antoni Grau i l'autor d'aquest mateix com a projecte final de carrera de la Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials de Barcelona (ETSEIB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). A més, a part de comptar amb la direcció del professor Antoni Grau, presenta la col·laboració d'un tutor per part de l'ETSEIB de la UPC.

Restarà per tant com a director del projecte:

- El Dr. Enginyer Informàtic Superior i professor titular del departament ESAII de la UPC, Antoni Grau i Saldes.

Com a tutora per part de la ETSEIB:

- La Sra. Enginyera Telecomunicacions Superior i professora col·laboradora del departament ESAII de la UPC, Yolanda Bolea i Monte.

Es presenta a continuació l'estudi, el desenvolupament i la construcció d'una plataforma per a l'anàlisi de comportaments en robòtica mòbil.

2.2. Motivació

El camp de la robòtica mòbil des del seu naixement ha estat en constant evolució. Avui en dia és imprescindible disposar de robots mòbils per realitzar estudis experimentals, ja que les simulacions en molts casos tenen limitacions evidents que impedeixen extrapolar al món real els resultats obtinguts.

En el mercat existeixen molts models o prototips comercials, però en la majoria de casos tenen components difícils d'aconseguir, un software que requereix de llicència, són massa senzills i molts ofereixen unes prestacions insuficients- molts són limiten a simples joguines.

Durant dècades, el disseny i la construcció física d'un robot ha estat una feina desenvolupada per grups de recerca o grups comercials amb un fort suport tecnològic. Fa uns anys, aquest fet era degut a la complexitat de la tecnologia i sobretot al cost dels

components, però amb el temps aquestes dues dificultats han anat minvant i això ha suposat per un major públic l'accés a la robòtica mòbil. És per aquest motiu que no resulta descabellat per a un estudiant en enginyeria industrial el desenvolupament d'un robot dotat d'una certa complexitat a un cost raonablement baix.

La idea principal entorn la qual gira el projecte és la construcció d'un primer prototip d'un microrobot que en un futur es pugui multiplicar i d'aquesta manera formar una comunitat de robots que puguin interactuar i cooperar entre ells.

2.3. Punt de Partida

Durant l'any 2003 en Jordi Pala de la Facultat de Informàtica de Barcelona de la UPC guiat pel professor Antoni Grau com a director va presentar durant l'octubre del 2003 com a projecte final de carrera una placa per desenvolupar sistemes microcontrolats (en la Figura 2-1 mostrem una imatge de la placa).



Figura 2-1. Placa de desenvolupament de sistemes microcontrolats

Les característiques principals de la placa de desenvolupament per a sistemes microcontrolats són:

- Desenvolupada en l'entorn del Microcontrolador¹ 80c552 que és una evolució del 80c51.
- Disposa d'una memòria Flash de 512Kbytes que es pot redirreccionar mitjançant 3 jumpers i software .
- 2 Bus d'expansió per tal d'utilitzar els recursos del 80c552 i de la PAL.
- Un convertidor analògic-digital que permet comparar els voltatges de referència del bus d'expansió o de les tensions d'alimentació.
- Tensió alimentació entre 7 i 15 Volts, amb un consum màxim de 200 mA.
- Port sèrie RS232 que permet la programació i comunicació a un PC.

¹ Un microcontrolador (micro) és un circuit integrat que conté un petit ordinador: CPU, memòria, bus de dades i bus d'instruccions. Disposa d'una sèrie de recursos interns útils per a la realització i el control d'aplicacions diferents.

En la Figura 2-2 es mostra un esquema funcional de la placa d'avaluació:

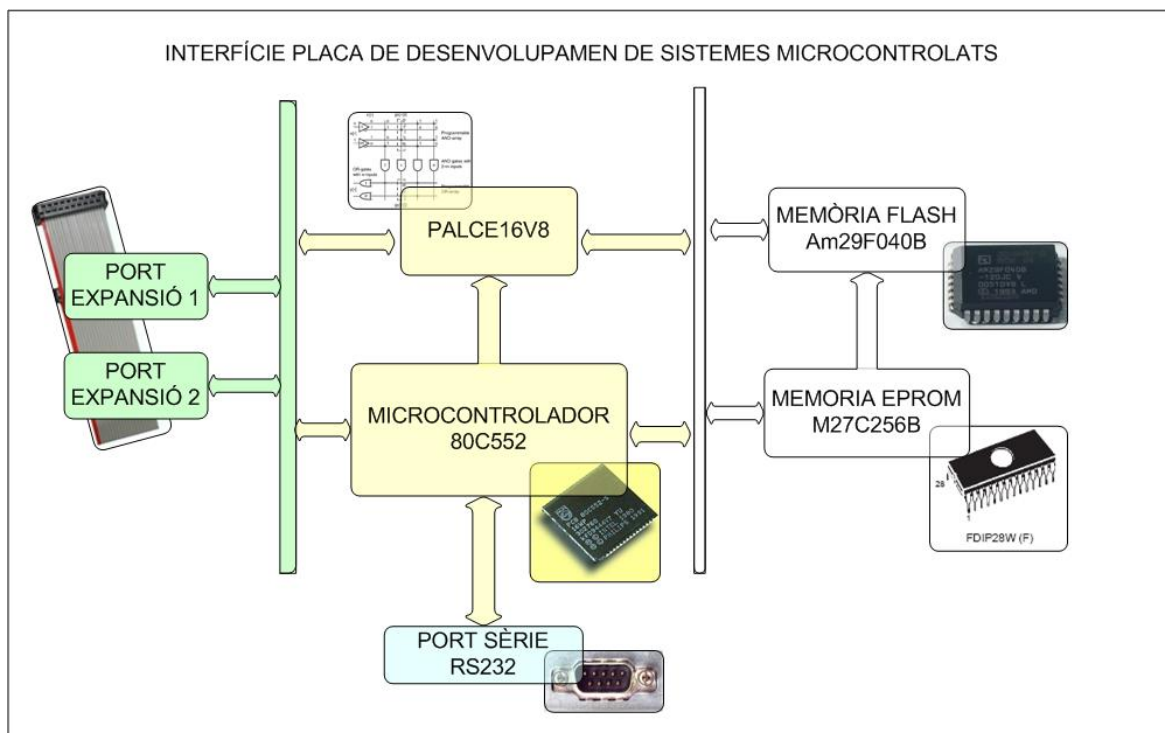


Figura 2-2. Funcionalitats placa d'avaluació

3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

Tenim per tant com a objectiu la construcció d'un microrobot que hauria de complir els següents requisits:

- Dimensions el més reduïdes possibles (una plataforma de dimensions no més grans de 50X50 cm).
- La velocitat del robot no és un prestació crítica però hauria de ser capaç d'anar com a mínim a 0,1 m/s.
- El cost del material per al microrobot hauria d'ésser també el més baix. En un futur és possible la clonació de nous robots (no una producció en sèrie, d'un a deu prototipus).
- El robot ha de continuar sent programable mitjançant el bootloader que disposa la placa d'avaluació o mitjançant un software equivalent que utilitzi el port sèrie.
- Creació d'un conjunt de funcions i rutines bàsiques pel funcionament del mateix.
- Elaboració, recopilació i creació dels manuals d'usuari i altres informacions que facilitin el desenvolupament de la plataforma de posteriors projectes.

Tampoc s'ha d'oblidar d'intentar dotar de la màxima autonomia al prototip (la idea utòpica seria que el robot pogués recarregar les bateries o la font d'energia que emprés de forma autònoma sense cap acció humana).

Com a objectiu paral·lel a la construcció del microrobot és la creació d'una plataforma pel mateix. Aquesta plataforma té com a requisits:

- Hauria d'ésser una interfície amigable que permetés avaluar, depurar i corregir en un primer instant les funcionalitats del robot i poder ser ampliable a mesura que es vagi desenvolupant en projectes posteriors.
- Hauria d'enviar i rebre informació per tal de mantenir amb el robot una comunicació sense cables. El desitjable per la comunicació és que fos full-duplex, si això no és possible la més ràpida que es permeti en un entorn d'uns 40-50 metres.

3.2. Localització del projecte i recursos disponibles.

Es desenvoluparà el projecte als laboratoris de recerca a la seu del Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial (ESAI) al Campus Sud de la UPC, més concretament al laboratori de Robòtica I (Despatx 545) i el laboratori de Robòtica II (Despatx 546).

Disposem del material existent a tots dos laboratoris, i que inclou diversos equips informàtics, fonts d'alimentació, oscil·loscopis, eines de taller (incloent-hi una fresadora i una a taladradora vertical) i un programador de memòries EPROM i altres xips lògics, així com un petit estoc de xips i encapsulats electrònics.

Com a software inicial de programació utilitzarem el compilador Keil51. Que ofereix un entorn de programació pels xips de la família 80C51 (entre altres) i que permet la traducció i compilació del codi en format C51¹ a ensamblador per generar finalment un fitxer hexadecimal que és el que s'ha d'utilitzar amb el bootloader de la placa d'avaluació.

A més, tenim la possibilitat de demanar material que no disposem als laboratoris i que ens sigui indispensable.

3.3. Classificació dels robots mòbils terrestres

Els robots mòbils es caracteritzen per la seva capacitat de moure's per l'entorn pel qual han estat dissenyats. Aquest entorn *a priori* és el que imposa el sistema de transport així com la seva estructura sensorial.

Resulta obvi que el nostre entorn es tracta d'un entorn terrestre, on trobarem alguns objectes estàtics i dinàmics (parets, altres vehicles mòbils, algun element fix de dimensions reduïdes, etc...). És possible que en alguns casos s'hagi de superar algunes rampes o pendents (d'una elevació no superior a un 15%).

¹ El llenguatge de programació C51 es una variable del llenguatge C que permet la utilització de certes rutines i variables pròpies del micro 80c51 i els seus derivats. Per més informació veure capítol 7.

Podríem classificar els robots terrestres en tres grans grups en funció de seu sistema de transport:

- Orugues: El sistema de locomoció és l'empra't pels tancs de combat, utilitzen cadenes o cintes per al seu moviment. Disposen, per tant, de dos graus de llibertat. Admeten càrregues força grans però els seus moviments són molt limitats. La conducció mitjançant cintes és bastant pràctica en el cas que el terreny contingui petits obstacles com roques i forats, però en el nostre cas no està pensat per moure's en entorns exteriors, per tant no és la solució més òptima.
- Potes: Disposen de diferents graus de llibertat en funció del seu nombre de potes. Són molt versàtils, ja que disposen de molts moviments, però al mateix temps molt difícils de controlar i garantir l'estabilitat. La càrrega que poden suportar es reduïda.
- Rodes: El nombre de rodes ens dóna el nombre de graus de llibertat (el més freqüent són dos graus de llibertat, encara que hi ha molts models amb tres). En funció del nombre de rodes, s'han d'emprar altres elements mecànics que garanteixin l'estabilitat.

3.4. Estudi de mercat actual

Un dels primers passos en la realització del projecte és la recerca de les alternatives que el mercat actual dels microrobots ens ofereix. Aquesta primera recerca ens permetrà avaluar d'una forma molt genèrica quines opcions existeixen en l'actualitat així com recopilar algunes idees de cara a la construcció del nostre propi microrobot (basarem la recerca en els robots mòbils basats en rodes, ja que a priori el seu disseny és més senzill i funcional).

A continuació presentem la Taula 3-1 amb una sèrie de prototips:

Model	Processadors	Memòria	Prestacions	Programació	Cost
LEGO MindStorms	RCX (hitachi)	16K ROM & 512B RAM & 32B RAM	sensors de llum, contacte, temperatura, motors,	Programació mitjançant blocs. Actualitzable el firmware (C,altres)	Més de 200 € (Variable)
Swibot-Stamp	Basic Stamp 1 o 2 (16C57)	2KB EEPROM & 72B RAM	2 motors dc, dos infrarojos,	mitjançant basic	menys de 125 €
Penelope	M68HC11	8KB EPROM & 8KB RAM	5 sonars, 6 bumpers, dos motors DC, 5 sensors infrarojos, sensor gas	ensamblador	aprox. 500 €
Hexpider	PIC16F876 & PIC16F877	8Kx14 Flash & 256B EEPROM & 368B RAM	20 servos	ensamblador & C	aprox. 500 €
Carpet Robot	Basic Stamp 2 (16C57)	2KB EEPROM & 72B RAM	2 servos, 1 Infraroig, 2 bumpers,	mitjançant basic	aprox. 350 €
AROBOT-E	Basic Stamp 2 (16C57)	2KB EEPROM & 72B RAM	1 motor dc, 1 servo, 2 encoders, sensor llum, bumpers, ampliacions	mitjançant basic	aprox. 300 €
OWI-991K Weasel	no	no	2 sensors infrarojos, 2 motores	no possible	aprox. 30 €
CYCLOPS	6270 placa controladora M.I.T	32KB RAM	2 motors DC, 1 servo, un sensor ultrasons, 2 bumpers, LCD.	software propi	aprox. 250 €
Pathfinder	Philips P87C52	8KB EPROM & 2KB RAM	mòdul GSM, panel solar, 4 motors DC, dos vídeo càmeres	ensamblador & C	aprox. 2000 €
Titan	PIC16F877	8Kx14 Flash & 256B EEPROM & 368B RAM	2 sensors infrarojos, 4 motors; 1 vídeo càmera,transmissió via radio	ensamblador & C	aprox. 1000 €

Model	Processadors	Memòria	Prestacions	Programació	Cost
BC05	PIC16F84.	Flash 1Kx14 & 64B EEPROM & 68B RAM	3 servos, 2 bumpers	ensamblador & C	aprox. 100 €
Swibot-SST	PIC 16F84	Flash 1Kx14 & 64B EEPROM & 68B RAM	2 motors DC, dos infrarojos,	software propi o mitjanant basic	aprox. 125
Ugo II	Z80CPU	2KB EPROM & 2KB RAM	40kHz sonar sensor, dos motors pas a pas, encoders	ensamblador	<200 €

Taula 3-1. Estudi de mercat actual

En aquesta taula només hi ha resumit diferents microrobots trobats en una primera cerca mitjançant el motor de recerca Google, a través d' Internet. Com s'aprecia les prestacions, la memòria i els llenguatges de programació són variables, però en alguns casos el seu cost creiem que és excessiu per les prestacions que ofereixen.

També constatem encara que no es fa referència a la taula que en molts casos molts d'aquests models disposen d'ampliacions que permeten incrementar les seves possibilitats.

4. Disseny del microrobot mòbil

4.1. Recursos del 80C552

Molts robots són construïts basant-se amb l'home, en aquest cas el 80C552 seria "el cervell" que ens permetrà controlar els actuadors que faran moure el robot i avaluar les informacions que ens proporcionin els sensors.

A l'hora de decidir quin és el millor sistema de locomoció pel microrobot i fer una selecció dels actuadors i sensors necessaris, es presenta amb detall el recursos de què disposa el microcontrolador 80C552:

- Dues sortides de 8-bits de resolució per a la generació de polsos (PWM).
- Memòria ROM interna de 8k x 8bit (mitjançant la placa s'expandeix a 64 Kbytes). És una memòria de programa.
- Memòria RAM interna de 256 x 8bit (mitjançant la placa s'expandeix a 64 Kbytes). És una memòria de dades.
- Dos comptadors/temporitzadors Standard de 16 bit.
- Un comptador/temporitzador addicional amb 4 registres per a la captura i 3 registres per a la comparació de interrupcions.
- Un convertidor Analògic – Digital de 8 canals amb una resolució de 10-bit.
- Capacitat per a produir 8 sortides temporitzades.
- 5 ports d'entrada – sortida (I/O). I un port addicional amb entrades analògiques.
- Dos nivells de prioritat en les interrupcions
- Un bus I2C amb un port I/O¹ que pot funcionar com a mestre o esclau.
- A Full-Duplex UART.

¹ I/O són el acrònim del Anglès Input/Output. Entrada/Sortida (E/S).

- Full-duplex UART compatible amb el Standard 80C51
- Un temporitzador que realitza les funcions de "WatchDog"¹

Presentem en el següent esquema (Figura 4-1) totes les funcionalitats del 80cc552:

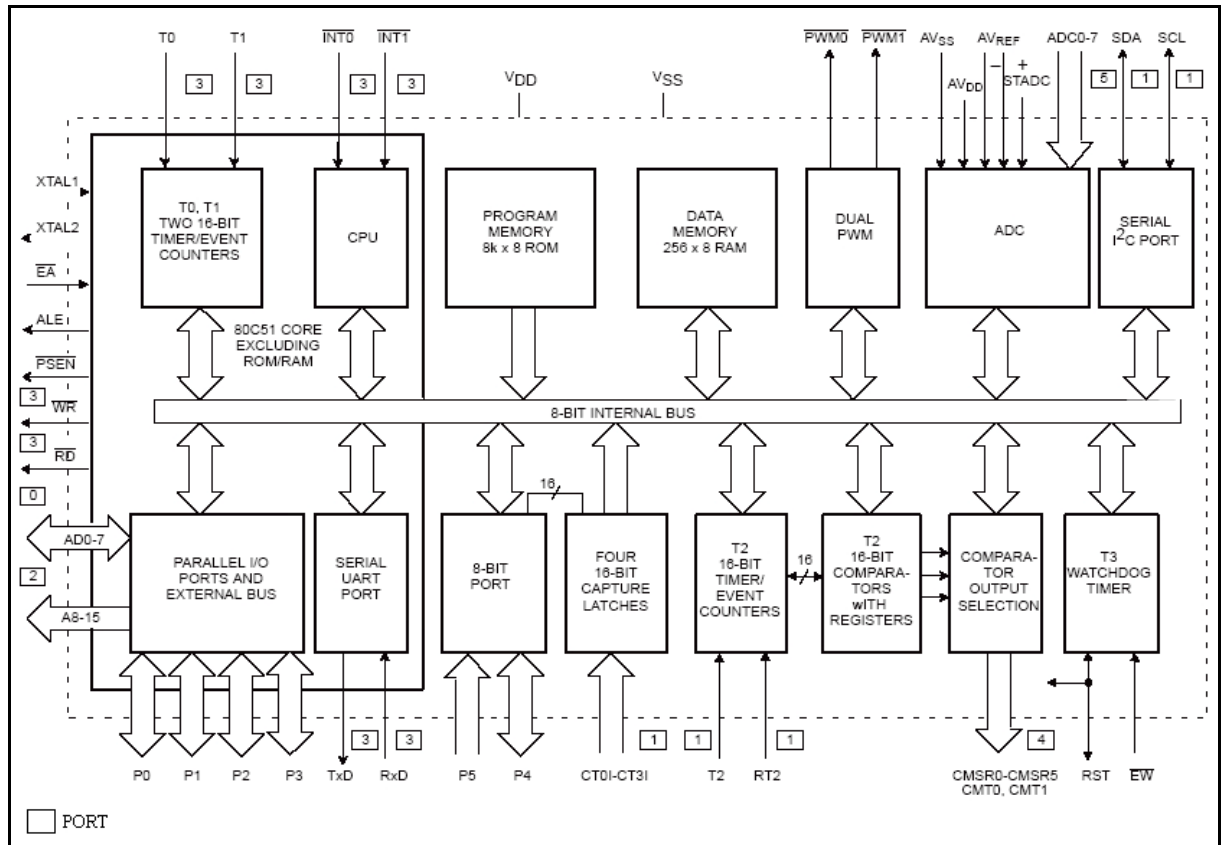


Figura 4-1. Esquema Funcional Micro 80c552.

Font: [1]

¹ Watchdog (gos guardià) és la característica que presenten molt microcontroladors d'inicialitzar de nou el programa si en un interval de temps un temporitzador no és reiniciat en el transcurs de l'execució del programa. D'aquesta forma s'eviten bucles infinits i altres mal funcions que es puguin produir.

4.2. Característiques del robot

4.2.1. El xassís

En alguns dissenys és la part més difícil de decidir. En el nostre cas, no ens basarem en criteris tècnics com podria ser el cas d'un disseny aerodinàmic o un resistent a altes temperatures, sinó que intentarem arribar a un compromís entra la practicitat i unes dimensions reduïdes.

4.2.2. Actuadors i configuracions cinemàtiques

Un altre dels condicionants en el disseny inicial del microrobot és la elecció de la configuració cinemàtica del mateix tenint en compte el nombre d'actuadors i la seva distribució. La distribució d'aquests elements en el xassís ha de garantir l'estabilitat del microrobot.

En l'apartat 3.3 hem classificat els robots mòbils en funció del seu sistema de locomoció. Aquests, a la vegada, es poden classificar en funció de les rodes motrius i directrius. En la Figura 4-2 es mostren diferents alternatives.

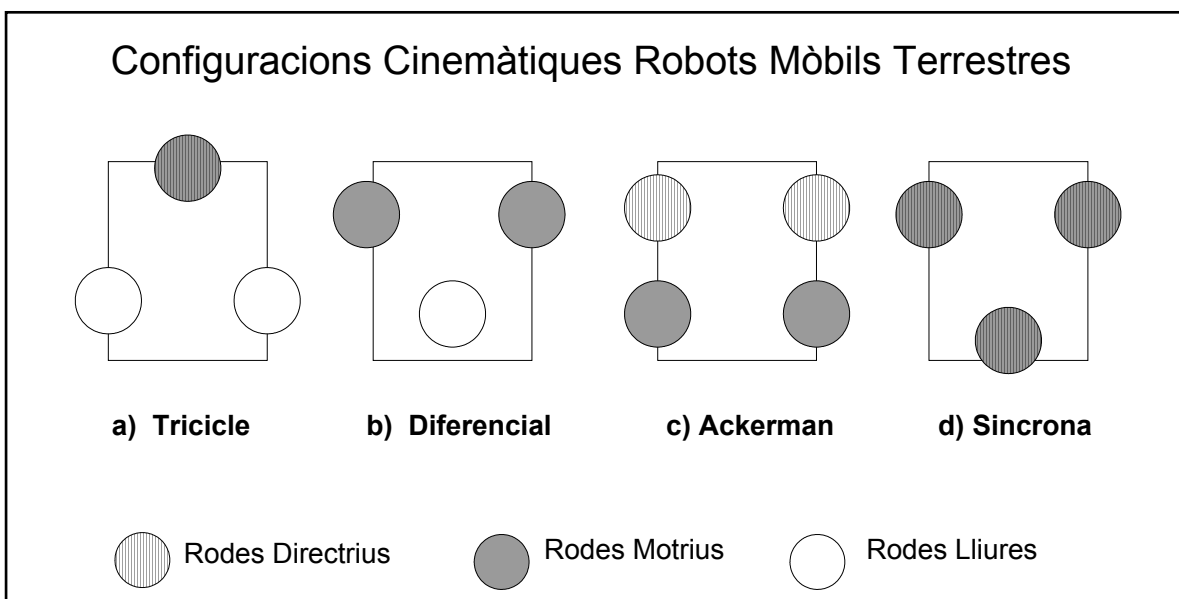


Figura 4-2. Configuracions cinemàtiques en funció de les rodes motrius i directrius.

- a) **Tricicle:** És molt fàcil d'implementar i controlar. Presenta com a inconvenients la inestabilitat i la lentitud en la generació de trajectòries.

- b) **Diferencial:** És la més senzilla d'implementar. Consta de dues rodes motrius i una o dos rodes lliures per a garantir l'estabilitat. Amb aquesta configuració els girs s'aconsegueixen girant ambdues rodes a velocitats diferents (fins i tot es poden aconseguir girs de radi 0). Podríem incloure també en aquest subconjunt els robots orugues.
- c) **Ackerman:** Típicament la configuració que té dues rodes motrius i dues directrius com la majoria d'automòbils (també existeixen models amb una sola roda directriu). Energèticament és molt eficient i permet els girs a altes velocitats. Té com a característica principal que quan el robot realitza girs les dues rodes directrius tenen el mateix centre.
- d) **Síncrona:** Les Rodes realitzen una doble funció ja que giren sobre si mateixes de forma simultània i apunten en la mateixa direcció. Amb aquesta configuració desacoblem els girs i els desplaçaments. Mecànicament és la més complicada d'implementar a causa del calibratge necessari. També té com a inconvenient les baixes velocitats que s'aconsegueixen.

Basant-nos en la classificació pels robots terrestres i tenint en compte els recursos del 80c552 creiem que seria possible implementar tant una opció amb cintes com una opció amb rodes. Pensem que la opció més adient és la utilització d'una estructura basada en rodes, ja que els moviments són més versàtils.

Per al control dels actuadors utilitzariem a priori les dues sortides PWM¹ que ofereix el microcontrolador.

Respecte la configuració cinemàtica les possibilitats són varies, ja que utilitzant dos actuadors no hi ha una única solució vàlida. Pel prototipus hem escollit una arquitectura diferencial.

4.2.3. Prestacions dels actuadors

El microrobot és un sistema que haurà d'interactuar amb un ampli ventall de pertorbacions i condicions. És impossible fer un càlcul precís de la potència necessària que ens han de proporcionar els nostres actuadors. De totes formes, es poden deduir de forma aproximada

¹ Veure apartat 5.2.2 per la solució final aplicada.

els requeriments potencials realitzant un simple diagrama (Figura 4-3) del robot escalant un rampa d'un angle α .

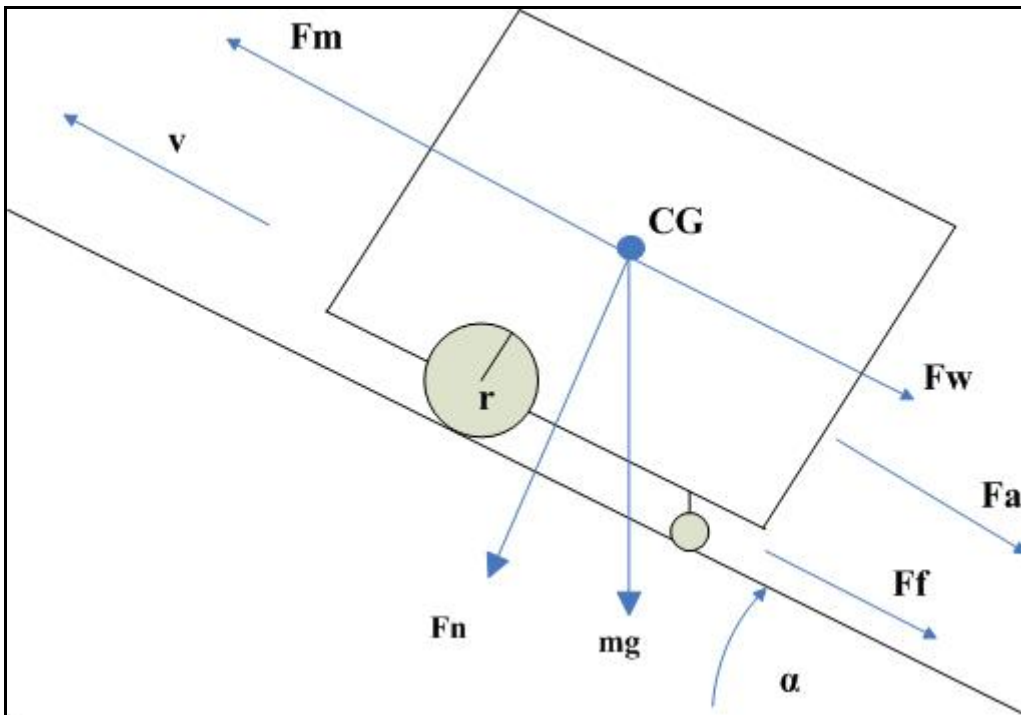


Figura 4-3. Diagrama simple d'un robot mòbil lliure.

Font: [2]

Suposem que el robot només té un motor accionant una roda de radi r . Per tant la força aplicada des de la roda (F_m) ha d'equilibrar-se amb la resta de forces resistents: la força inercial (F_a), la força de fricció (F_w) i la component que depèn del pes (F_w).

$$F_m = F_a + F_w + F_f \quad [\text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (\text{Eq.4-1.})$$

La força inercial (F_a) és igual al producte de la massa del robot per la seva acceleració:

$$F_a = m \cdot a \quad [\text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (\text{Eq.4-2.})$$

La component del pes (F_w) en la direcció de la rampa és:

$$F_w = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad [\text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (\text{Eq.4-3.})$$

La força de fricció (F_f) és igual a la component normal del pes pel coeficient de fricció (μ):

$$F_f = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad [\text{Kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (\text{Eq.4-4.})$$

Tenint en compte l'equilibri de forces de l'equació [1], la potència necessària que ens haurà de subministrar el nostre motor (P_m) resultarà del producte de la força F_m per la velocitat màxima del nostre robot (v):

$$P_m = F_m \cdot v \quad [\text{W}] \quad (\text{Eq.4-5.})$$

Les característiques dels fulls tècnics dels motors normalment proporcionen el seu parell (en Nm) i la velocitat de rotació màxima (en revolucions per minut o rpm), és convenient doncs calcular-les:

$$T_m = \frac{P_m}{\omega} \quad [\text{N} \cdot \text{m}] \quad (\text{Eq.4-6.})$$

on ω és:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad [\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (\text{Eq.4-7.})$$

i per tant les revolucions per minuts (n) són:

$$n = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \cdot 60 \quad [\text{rpm}] \quad (\text{Eq.4-8.})$$

Si tenim en compte doncs el parell necessari (T_m), aquest ha de ser distribuït entre tots els motors que tingui el microrobot depenen de la configuració escollida (aquesta afirmació només és certa si les rodes tenen el mateix radi).

Al tractar-se d'una etapa preliminar en el disseny, els únics elements que disposem són les rodes que utilitzarem i la base de la plataforma (veure apartat 5.1). Com a rodes s'empren dues utilitzades en cotxes de radio modelisme (veure Figura 4-4.) amb un diàmetre de 65 mm, per tant farem una estimació de la resta de dades:

- Un pendent màxim d'un 15% ($\alpha=8,53^\circ$).
- Una velocitat màxima de 0,1 m/s i una acceleració de 0,1 m/s².

- Un pes de 3kg. Aquest ha de tenir en compte el pes total del robot, incloent-hi les bateries i els sensors, així com possibles ampliacions.

Amb aquestes estimacions obtenim i, resolent les equacions anteriors, tenim que les prestacions mínimes que han d'oferir els motors són:

- Una força F_m de $16,28 \text{ Kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.
- Una potència (P_m) a de $1,63 \text{ W}$.
- Un Parell (T_m) de $0,53 \text{ Nm}$.
- Una velocitat angular de $29,37 \text{ rpm}$.



Figura 4-4. Roda d'aeromodelisme

4.2.4. Sensors

Si el 80c552 era “el cervell” del robot i els motors “les extremitats”, anàlogament podem definir els sensors com els sentits. Aquests ens permetran avaluar l'entorn i prendre decisions en funció de la informació que proporcionin.

Existeixen una gran quantitat i diversitat de sensors tant en preu com en prestacions,

Les característiques que ens haurien de proporcionar els sensors al nostre prototip són:

- Evitar la col·lisió amb obstacles.
- Detectar la col·lisió amb un altre vehicle mòbil
- Possibilitat d'avaluar els moviments del propi microrobot (velocitat i posició).

Els sensors que ens poden oferir aquestes prestacions són:

- Bumpers o microinterruptors: Són sensors mecànics que al pressionar-los canvien l'estat d'alguna entrada del micro indicant que han estat activats.
- Sensors d'ultrasons o òptics de reflexió: Amb aquest tipus de sensors podrem detectar la distància aproximada a la qual es troben objectes.
- Encoders: La utilitat d'aquests sensors resideix en què permeten mesurar la posició i la velocitat d'un eix motor. D'aquesta forma el microcontrolador pot avaluar al velocitat o el desplaçament que ha realitzat.

5. Construcció i desenvolupament

Aquest és un dels capítols més importants del projecte, ja que encara que no entrarem en detall en cap dels seus apartats, permet veure les diferents solucions, així com possibles alternatives a les finalment implementades.

5.1. Plataforma- Estructura base

Per a la col·locació i la fixació dels sensors i dels actuadors en el prototipus s'utilitza una placa de metacrilat.

El metacrilat és un plàstic compost que té una bona resistència mecànica i un pes lleuger- pesa la meitat del vidre i de mitjana és 15 vegades més resistent a impactes,

A més a més aquest compost, és tan rígid com la fusta, però a la vegada és fàcil de treballar amb ell mitjançant les eines del taller. Aquest és un dels motius principals de la seva elecció, ja que al tractar-se d'un prototip les modificacions poden ser constants facilitant possibles modificacions.

Per a la construcció d'una versió definitiva també es pot emprar la fusta o l'alumini, encara que no és estrany veure models d'aquest tipus de material.

L'elecció d'aquesta estructura permet la ampliació del microrobot mitjançant una estructura modular, que permet créixer de forma vertical.

A continuació presentem en la següent imatge la base de metacrilat utilitzada com a base per al microrobot:



Figura 5-1. Placa metacrilat de l'estructura base

Les característiques de la plataforma són les següents:

- Dimensions aproximades de 18 cm de llarg per 18 cm d'ample i un gruix de 3 mm.
- Pes de 0,15 Kg.

5.2. Motors

5.2.1. Tipus de motors

Els motors de corrent directa o corrent contínua (DC)¹ dominen el món de la robòtica enfront els motors de corrent alterna (AC). Aquest fet és degut a un cost menor, una major varietat i a un control més senzill per part dels motors DC.

És cert que molts robots són dissenyats per operar amb corrent alterna, però la majoria acaba convertint la corrent alterna en contínua per a la majoria de subsistemes.

Anàlogament podem classificar els motors de corrent contínua en tres categories:

- **Continus:** L'aplicació d'energia al motor implica una rotació de l'eix, aquest s'atura quan deixem d'aplicar-la o quan el motor s'encalla² perquè no té suficient potència per conduir la càrrega acoblada a l'eix. Els motors de corrent contínua tenen com a inconvenient principal el poc parell i precisió que ofereixen, en canvi la velocitat de sortida és suficientment elevada. És necessari en la majoria de casos la utilització d'un sistema mecànic d'engranatges per reduir la velocitat i aconseguir un parell suficientment gran per desplaçar les càrregues.
- **Pas a pas:** L'aplicació d'energia al motor implica una rotació de l'eix d'uns quants graus, després aquest s'atura. Una rotació contínua de l'eix requereix un enviament de polsos continus. La precisió d'aquests motors és més elevada que els motors continus, ja que a un nombre de polsos elèctrics determinats es pot calcular de forma precisa l'angle girat per l'eix. En canvi té com a inconvenient que el control és més complicat que el motor de corrent contínua.
- **Servo motor:** Els motors de corrent contínua i els pas a pas són sistemes "oberts", és a dir: mentre són alimentats giren... però quan giren?, els servomotors en canvi són sistemes "tancats":

¹ En anglès DC són les sigles de Direct Current.. AC són les sigles de Altern Current.

² En la literatura en Anglès i els fulls de característiques s'anomena a aquest parell "stall torque".

La sortida del motor està acoblada a un control de posició. Si la rotació del motor és limitada per alguna raó, el mecanisme de realimentació detecta l'eix del potenciòmetre i per tant la sortida del motor no està en la posició correcta i corregeix l'error fins que s'aconsegueix arribar a la posició desitjada.

Un servomotor està format per una sèrie d'engranatges per reduir la velocitat del motor, un potenciòmetre i un circuit de control (aquests tres formen un llaç tancat), veure la Figura 5-2.

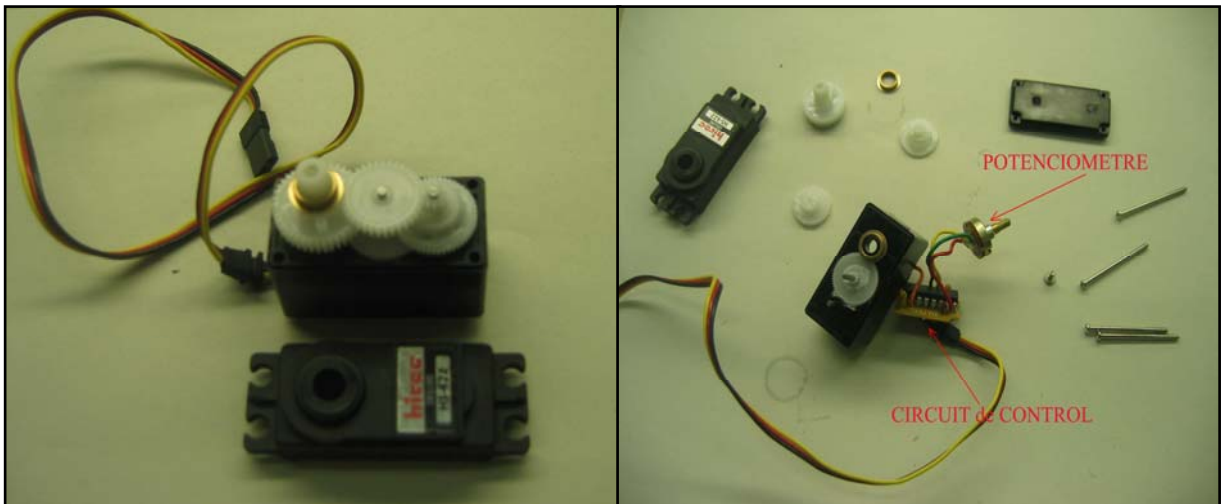


Figura 5-2. Engranatges del servomotor / Circuit Control i Potenciòmetre.

Mentre que el motor i el circuit de control són alimentats per una font constant de DC (normalment entre 4,8 i 7,2 V), per activar el motor cal alimentar la senyal de control del circuit mitjançant una freqüència de polsos determinada perquè el motor giri (la freqüència de polsos és independent dels sentit de gir, aquest es realitzarà en funció de l'amplada del pols). El servo girarà en una direcció mentre el potenciòmetre no arribi a la posició de control o fins que deixem de alimentar-lo mitjançant els polsos.

El servo motors tenen l'inconvenient principal que estan limitats mecànicament a un gir entre dos posicions fixes (entre 0° i 180°). Per tant, la utilització d'un servomotor requereix un "trucatge mecànic" per a què pugui girar lliurement 360°.

Tenint en compte els requeriments dels nostres actuadors (veure apartat 4.2.3) i la classificació dels motors utilitzarem dos servomotors com a actuadors del prototipus, ja que s'aconsegueix un compromís entre el parell i la velocitat necessària

Aquesta però no és una solució única: es poden utilitzar dos motors pas a pas i/o motors DC i reduir la velocitat mitjançant una sèrie d'engrenatges, però per simplificar i fer més senzilla la mecànica creiem que és la solució més adient...

Els dos servomotors utilitzats són el HS-422-Deluxe de la casa HITEC, les prestacions que ofereixen són:

- Temperatura de funcionament de -20°C a 60°C.
- Dimensions de 40.6x19.8x36.6mm.
- Voltatge d'operació entre 4,8 i 6 V.
- Pes de 45,5 gr.
- Corrent màxima sense càrrega de 150 ma.

La taula següent mostra el parell i la velocitat del servomotor a diferents tensions d'alimentació:

Tensió D'alimentació	4,8 V	6 V
Stall Torque	3,3 Kg·cm (0,32 Nm)	4,1 Kg·cm (0,40 Nm)
Velocitat d'operació (Sense Càrrega)	0,21 s/60° (47 rpm)	0,16 s/60° (62,5 rpm)

Taula 5-1. Característiques motor "HITEC-422 Deluxe" en funció del V d'alimentació.

Les característiques tècniques del HITEC 422 són suficients: amb una alimentació de 6V dos servomotors ens proporcionen un parell de 0,8 Nm enfront del 0,53 Nm que el calculat en l'apartat 4.2.3.

És recomanable per allargar la vida útil de servei i optimitzar l'ús del motors, que el parell màxim que aquests puguin proporcionar estigui entre 1,5 i 2 vegades el necessari per a l'aplicació. En el cas dels dos servos emprats aquest paràmetre equival a 1,50 (és el resultat del quocient entre el parell màxim que ofereixen els nostres dos actuadors i el requerit $\left(\frac{0,80}{0,53}\right)$).

5.2.2. Circuit de Control dels motors

Per al control de la velocitat i el sentit de gir es poden utilitzar dues estratègies un cop que s'ha modificat el servo mecànicament per aconseguir una rotació contínua:

- Remoure el potenciòmetre i el circuit de control original del servomotor de manera que obtenim un motor de DC però amb l'avantatge d'incloure el sistema de reducció.
- Substituir el potenciòmetre per unes resistències fixes i realitzar el control mitjançant el circuit de control original.

Qualsevol de les dues opcions és fàcilment implementable. En el prototipus ens hem decidit per la opció a (aquesta solució però no és única).

S'utilitza pel control del sentit de gir i la potència el xip integrat L293D. Aquest xip té com a funció separar les senyals emeses de control pel microcontrolador, del circuit inductiu o de potència. Permet controlar mitjançant un pont en H (veure Figura 5-3) amb dos sentits de gir i la potència subministrada mitjançant una excitació PWM. S'elegeix aquest circuit integrat perquè és de fàcil adquisició, econòmic i, a més, s'evita la construcció del pont en H mitjançant components discrets, ja que porta incorporats els diòdes de protecció en el interior.

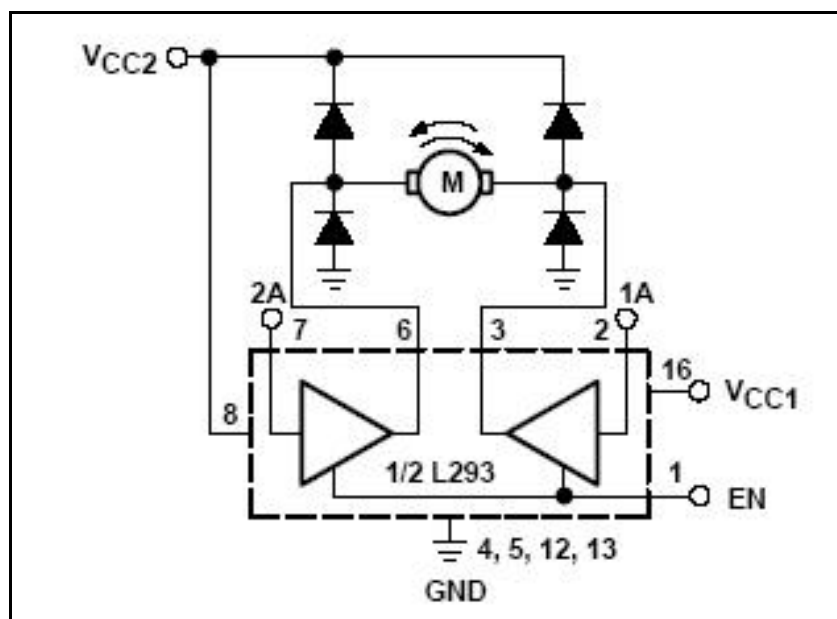


Figura 5-3. Pont en H.

Font:[3]

En l'esquema de la Figura 5-3 es mostra només la meitat del circuit integrat L293D i que permet el control d'un motor mitjançant les excitacions de la taula següent:

Mode	EN	1A	2A	Funció Motor
1	A	B	A	Gir Dreta
2	A	A	B	Gir Esquerra
3	A	B	B	Aturada Ràpida
4	A	A	A	Aturada Ràpida
5	B	X	X	Aturada Ràpida

Taula: 5-1. Taula veritat pont en H.

On A significa nivell alt de tensió¹, B nivell baix i X no importa l'estat.

Els modes 3 i 4 no són possibles, ja que per tal d'utilitzar els mínims recursos del micro s'ha complementat la senyal d'entrada 1A i 2A, per tant una és la senyal negada de l'altre i amb un sola sortida del micro en tenim prou per al control del sentit.

El control de la velocitat el podem aconseguir activant i desactivant molt ràpidament el pont en H (habilitant i deshabilitant les senyals de control EN, pins 1 i 9 del L293D). D'aquesta forma els servos reben una tensió retallada als seus terminals, les característiques de la mateixa són una amplitud i una freqüència fixes i una duració del cicle de treball variable.

Es defineix com a cicle de treball com el temps on tenim aplicada la màxima tensió en bornes del motor entre el període de la senyal :

$$\text{Cicle treball} = \frac{\text{temps}_{\text{màxima tensió}}}{\text{període}} \quad [\%] \quad (\text{Eq.5-1})$$

¹ El xip L293D utilitza tecnologia TTL que es compatible amb els ports d'E/S del micro. Un nivell de tensió baix TTL és menor de 1,8V, mentre que un nivell lògic alt es major de 2V.

A aquesta tècnica de control és coneguda per PWM¹. Té com a avantatges enfront a altres la següents característiques:

- Fàcil implementació: és més fàcil construir un circuit que encengui i apagi transistors, que un que proporcioni tensions variables amb una corrent determinada.
- Lineal: Quan ajustem les senyals PWM a un cicle de treball determinat, per exemple al 70%, el servo treballa molt a prop del 70% de la seva potència màxima. Però si apliquem per exemple un 70% de la tensió operativa del motor, aquest treballarà molt per sota del 70% de la seva potència màxima, això és degut a que la potència del motor s'incrementa aproximadament amb el quadrat del voltatge.

En la Figura 5-4 mostrem un esquema concret del seu funcionament:

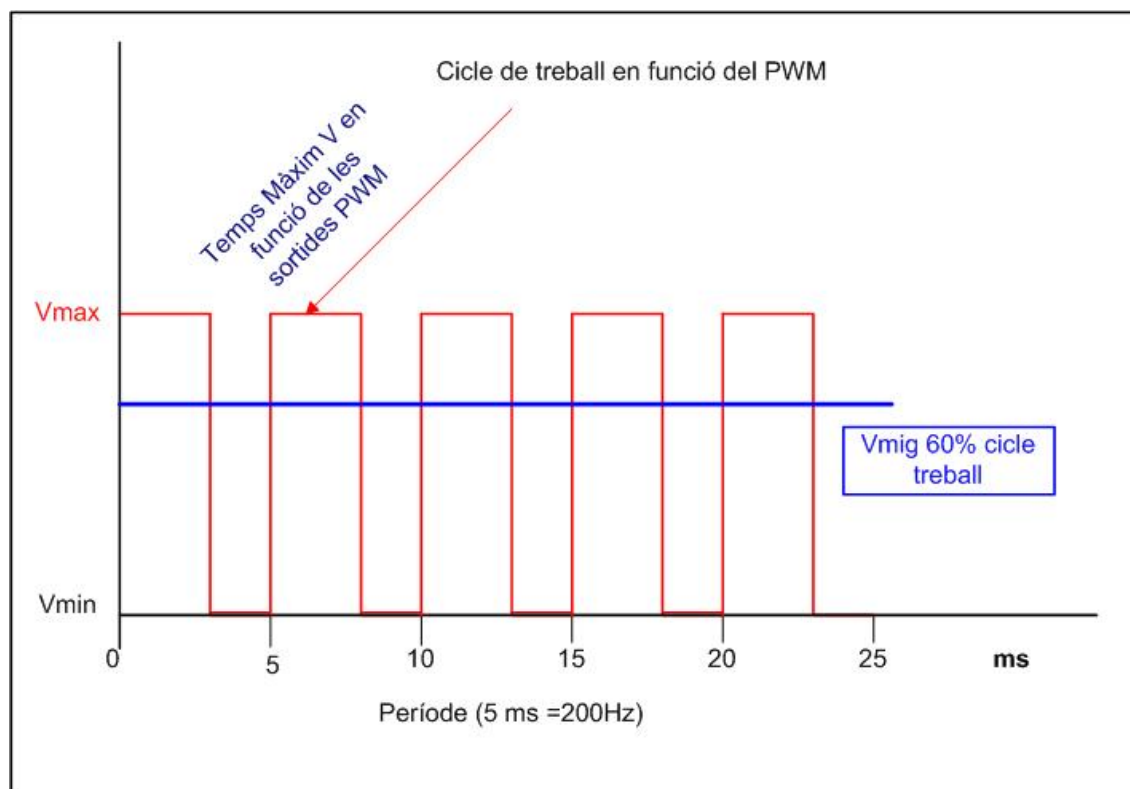


Figura 5-4. Cicle de treball en funció del PWM.

¹ PWM prové de la literatura en anglès "Pulse width modulation".

La freqüència de treball és no és un valor crític, ja que el rang vàlid és molt ampli (dels 50 Hz al 1000 Hz). Les sortides del nostre micro (PWM0 i PWM1, que són les utilitzades per habilitar les senyals de control EN) tenen una freqüència compresa entre els 123 Hz i els 32,5 KHz, poden aconseguir cicles de treball entre el 0% i el 100% amb increments de 1/255.

5.3. Encoders

5.3.1. Característiques bàsiques dels encoders

Un encoder és un sensor que és capaç de detectar el gir, la posició i la velocitat de rotació d'un eix. La utilització d'aquests encoders permetrà entre altres coses realitzar trajectòries o definir moviments per a microrobot.

Existeixen diferents tipus d'encoders, els més comuns són els magnètics i els òptics.

Els encoders també es diferencien en funció de la senyal generada, ja que aquesta pot ser absoluta (donant la posició exacta en cada moment del encoder i per tant de la roda) o incremental (en aquest cas pols generat per l'encoder indica que la roda ha donat una fracció de gir).

Si tenim en compte la configuració cinemàtica del robot (configuració diferencial), si col·loquem un encoder incremental a cadascuna de les rodes (acoblat a l'eix de sortida del motor i mesurant el nombre de polsos que es produeix per unitat de temps es pot arribar a calcular la velocitat a la qual gira cadascuna de les rodes. D'aquesta forma es poden arribar a sincronitzar les rodes mitjançant algun algorisme o control .

L'encoder incremental també és útil per mesurar la distància recorreguda per cadascuna de les rodes, ja que un nombre determinat de polsos implica un gir determinat de l'eix sobre el qual està col·locat i per tant un gir d'un angle determinat de la roda.

Desafortunadament, els encoders comercials solen ser bastant cars i en molts casos són dissenyats per a certs tipus de motors i per algunes aplicacions determinades. En aquest cas es va decidir construir per al prototipus els propis encoders incrementals seguint l'esquema de la figura següent:

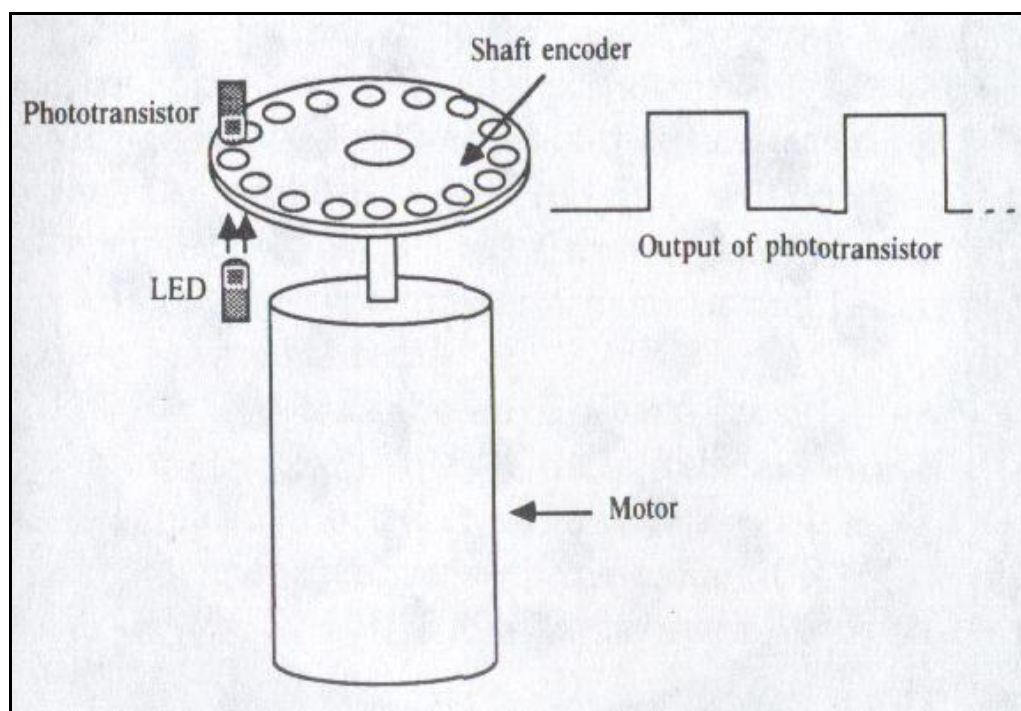


Figura 5-5. Encoder incremental òptic

Font: [4]

El disc està compost per una sèrie de forats al voltant de la superfície de l'extrem superior. Un led emissor de llum infraroja és col·locat en un cantó del disc de manera que la llum que emet va passant pels forats a mesura que l'eix del motor va girant. A l'altre costat del disc de forma oposada al led es col·loca un fototransistor sensible a la llum infraroja de manera que és capaç de generar pulsos a mesura que el disc deixa passa la llum. Aquest pulsos són mesurats pel microcontrolador.

5.3.2. Encoder incremental òptic

El circuit que s'ha implementat és el de la Figura 5-6.

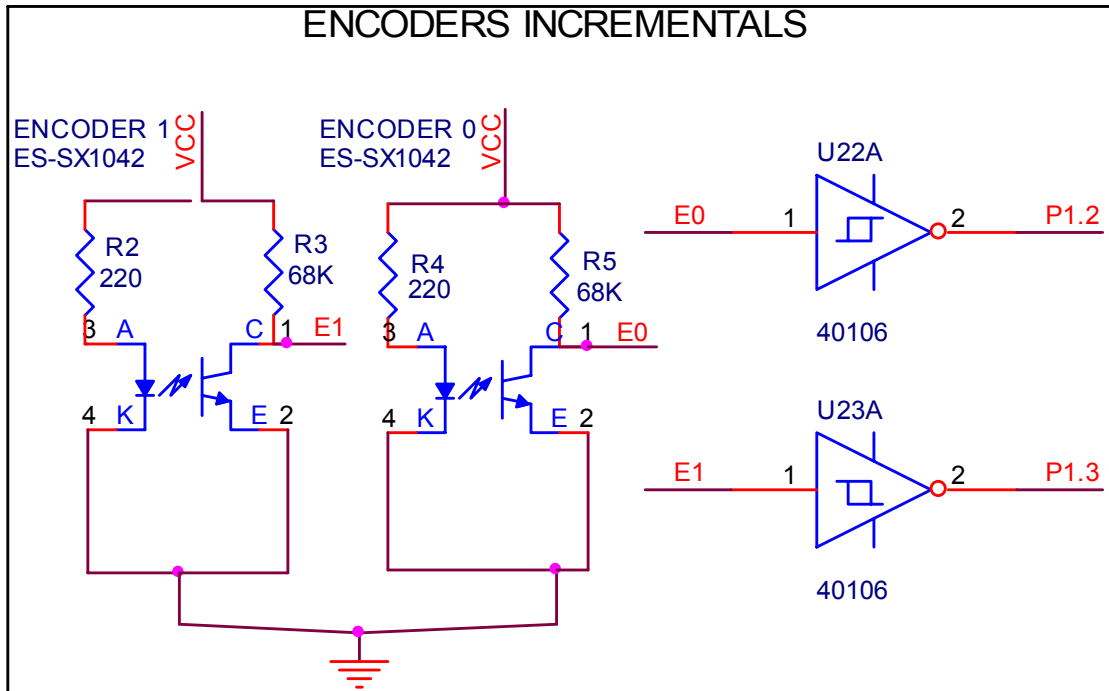


Figura 5-6. Circuit d'aplicació per al phototransistor ES-SX1042.

Quan el phototransistor (ES-SX1042) no capta la llum del led emissor i per tan es troba en tall, la sortida del circuit entrega un nivell alt de tensió, mentre que quan capta la llum del led es satura i a la sortida obtenim un nivell baix. Per conformar la senyal d'entrada i obtenir unes senyals digitals s'utilitza un inversor.

Per a la construcció el disc, s'ha emprat una placa de metacrilat igual a la utilitzada per a l'estructura del robot però amb un gruix de 2 mm. L'encoder ha estat mecanitzat amb 32 forats i es fixat directament a l'eix motor.

Al mateix temps per a fixar la roda a l'encoder (i a l a seva vegada al motor) s'utilitza un eix (emprat en cotxes de radiocontrol) o que és entrat a pressió en un disc¹ de xapa d'acer de 2 mm de gruix. En les següents imatges s'observa el muntatge final de l'encoder i el phototransistor.

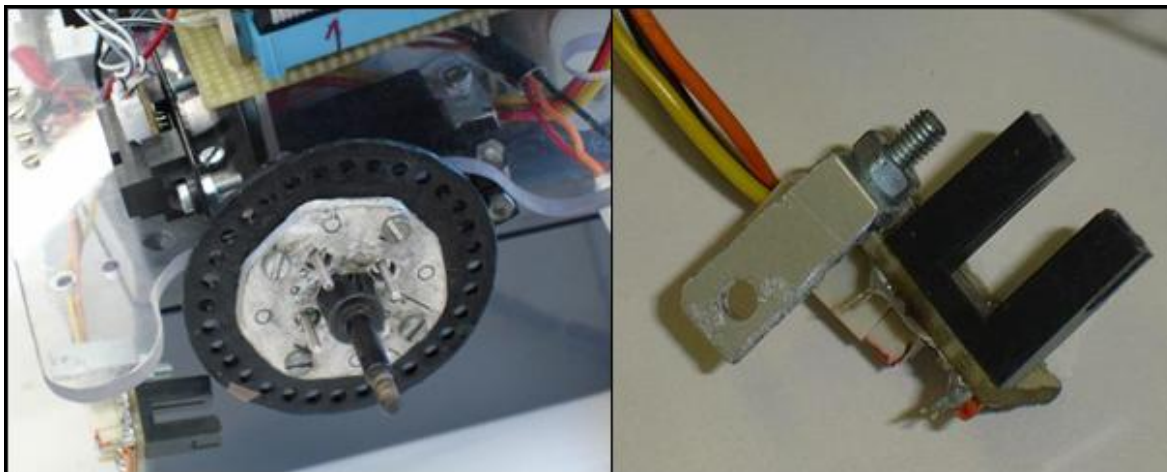


Figura 5-7. Muntatge Encoders i phototransistor ES-SX1042.

Per a la mesura dels polsos i per evitar la pèrdua d'alguns, s'utilitzen dues entrades "ràpides" del micro (pins 2 i 3 del port 1) que generen interrupcions a cada pols i que estan dissenyades per a la mesura i la detecció d'interrupcions².

A més a més, per software és possible duplicar la precisió de l'encoder i per tant obtenir-ne un "virtual" de 64 forats, ja que el micro és capaç de detectar tant la pujada com la baixada dels polsos generats pel phototransistor.

Per al càlcul de la precisió dels encoders només necessitem saber el nombre de sectors del disc del encoder (N) i el radi de la roda (r).

¹ En el CD de documentació adjunta es troben els plànols en AUTOCAD tan de l'encoder com del disc metàl·lic.

² Més informació de les interrupcions i de la programació dels encoders en l'apartat 7.3.

La precisió ve donada per la següent equació:

$$P = \frac{2 \cdot \Pi \cdot r}{N} \quad [\text{mm}] \quad (\text{Eq.5-2})$$

On $N=64$ i $r=65/2$, per tant obtenim una precisió de 1,60 mm, i per tant a cada detecció que realitzi el micro la roda corresponent haurà avançat una distància lineal de 1,60 mm.

5.4. Bumpers

5.4.1. Característiques bàsiques dels bumpers

Aquests sensors seran utilitzats per detectar possibles col·lisions amb altres robots mòbils o objectes. Generalment els bumpers són uns microinterruptors formats 3 contactes, un dels quals és comú als altres dos en funció del estat del polsador (veure Figura 5-8).

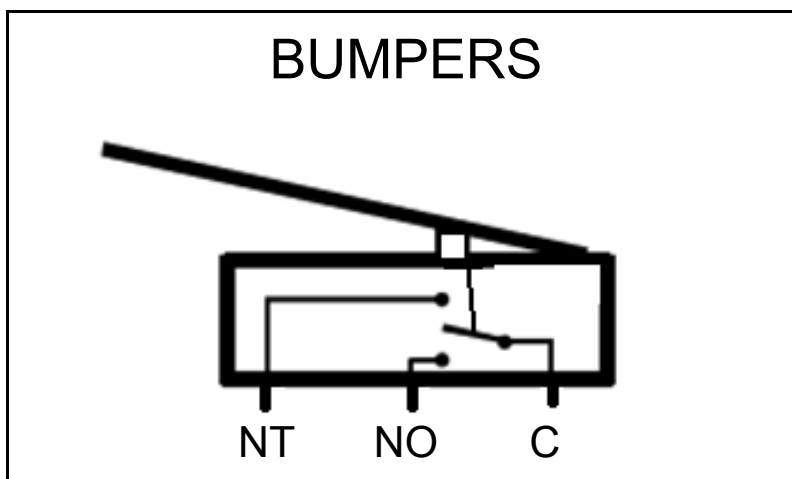


Figura 5-8. Esquema bàsic d'un bumper

El funcionament del bumper es basa en connectar un nivell lògic alt de tensió a un dels contactes normalment tancat (NT) i un nivell lògic baix de tensió a un dels contactes normalment obert (NO), aquesta configuració també pot ser a l'inrevés en funció del tractament i de programació que vulguem realitzar a posteriori. D'aquesta forma el contacte comú tindrà un nivell lògic diferent en funció de l'estat del polsador.

5.4.2. Configuració dels bumpers en el microrobot (“mappejat de ports”)

Per al prototipus s'ha seleccionat 6 bumpers de model “vareta llarga” per protegir el contorn de la plataforma frontal, lateral y posterior.

Per a la connexió amb el microcontrolador resulta obvi com a primera opció la utilització d'alguns ports I/O per a les senyals comunes (C) de cadascun dels bumpers. Aquesta però encara que és una solució possible, no és la més òptima i va en contra dels objectius del projecte en intentar maximitzar les prestacions del robot minimitzant els recursos emprats, ja que "eliminem" de forma permanent 6 entrades dels micro que podrien ser utilitzades per altres perifèrics o aplicacions.

Per minimitzar els recursos emprats utilitzarem una tècnica mitjançant software i hardware que s'anomena de forma col·loquial en la literatura "mappejat de ports".

L'esquema funcional implementat és mostra en la següent figura:

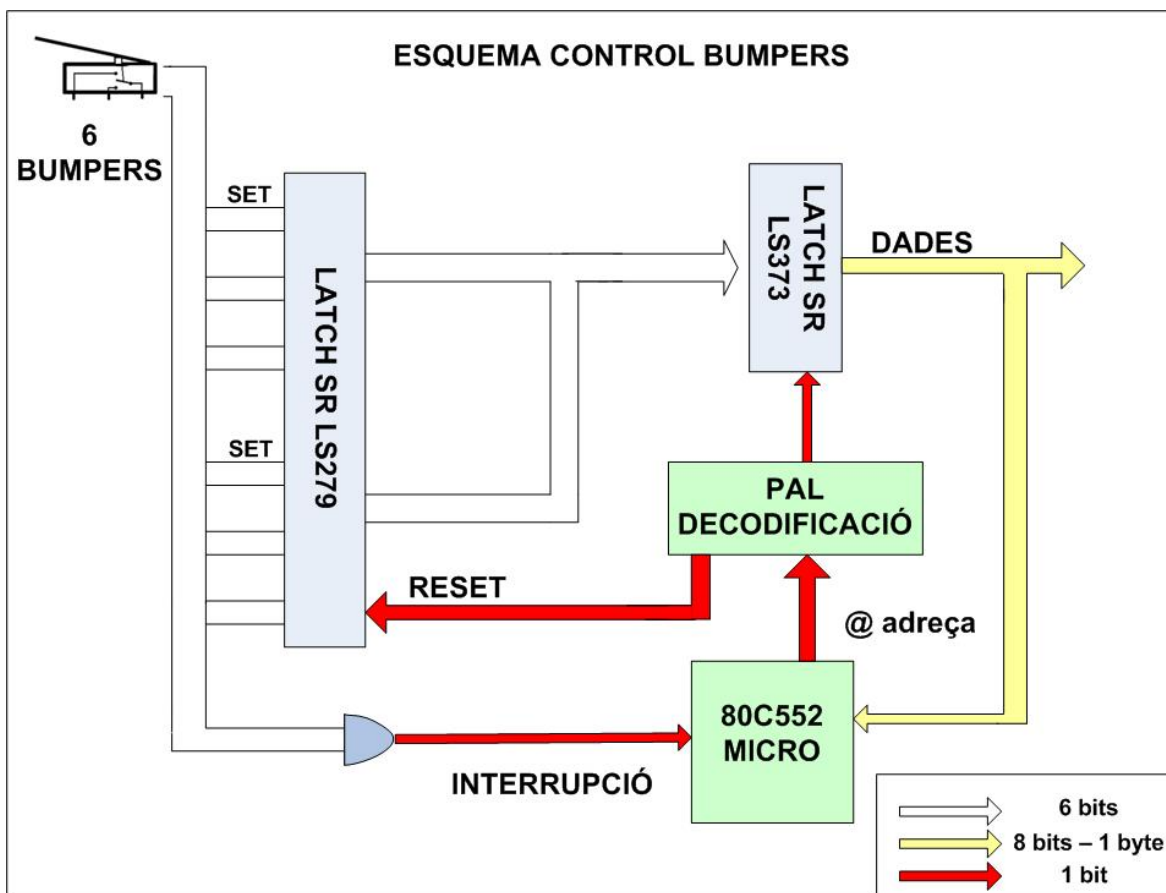


Figura 5-9. Esquema Control Bumpers.

Els bumpers en la seva posició natural (en repòs) es trobaran a un nivell lògic alt de manera que si un d'ells o més d'un és accionat a la vegada, aquests mitjançant una porta lògica generaran una interrupció en el micro (aquesta entrada és l'únic recurs del micro que comprometem).

El micro, a la seva vegada com a resposta a la interrupció generada pels bumpers, intentarà accedir a la memòria flash. És en aquest punt on entra en joc la PAL desactivant la memòria flash i “bolcant” en el canal de dades els valors dels bumpers que han estat prèviament activats i tenen emmagatzemat el seu valor lògic en circuits integrats intermitjos que realitzin aquesta funció d'emmagatzemar dades (anomenats “latches” en la literatura en anglès). D'aquesta forma el micro llegirà pel canal de les dades els valors dels bumpers que han estat activats.

Per poder llegir els valors del bumpers que han estat activats mitjançant la interrupció haurem de fer una crida de la següent forma:

```
unsigned char xdata sr  _at_ 0xF800;  
  
• bumpers=sr;
```

On “sr” és un punter a una direcció de memòria, de tal forma que quan intentem accedir aquesta direcció de memòria la PAL s'encarrega de gestionar els circuits integrats i de bolcar les dades al canal de les dades (“bumpers” és una variable auxiliar on guardem l'estat de tots els bumpers).

Un cop haguem llegit el valors la PAL haurà d'enviar una senyal (senyal RESET en la Figura 5-9) per a esborrar i inicialitzar els “latches” intermitjos. Això ho farem també mitjançant una crida semblant a l'anterior:

```
unsigned char xdata reset  _at_ 0xFA00;  
  
• temporal=reset;
```

On “reset” és un altre punter a una altra direcció de la memòria de dades, que també es interpreta per la PAL i “temporal” és una variable auxiliar per a poder realitzar la crida.

Per poder implementar aquesta solució s'ha tingut que modificar el codi inicial que estava programat a la PAL i que gestionava les memòries EPROM i FLASH. Per veure el codi definitiu de la PAL programat i la demostració del seu funcionament veure apartat D dels annexos.

5.5. Sensors Infrarojos

La utilització d'aquest tipus de sensors respon a la necessitat d'evitar col·lisions i poder mesurar distàncies a objectes i/o obstacles mentre el robot està efectuant una navegació. En el mercat existeixen una gran quantitat de sensors (amb prestacions i preus molt variats).

La majoria d'aquests sensors són capaços de donar informació de la distància a la que es troben els obstacles, els altres de prestacions més reduïdes només són capaços de donar informació de tot o res, és a dir, si els objectes es troben situats dintre d'un llindar (aquest pot ser variable, des de pocs centímetres fins un parell de metres) donen un nivell lògic alt, sinó donen un nivell baix.

5.5.1. Parallax o la triangulació

La tècnica emprada per aquest tipus de sensors es coneguda per parallax o triangulació:

- La llum emesa per emissor d'infrarojos es fa passar a través d'una petita lent convexa, d'aquesta forma la llum emesa pel led es converteix en un feix de llum paral·lel.
- Quan la llum xoca amb un objecte es reflexa en moltes direccions.
- El receptor està format per una lent de precisió que transmet la llum reflectida en porcions

Com s'observa en la Figura 5-10 es genera un triangle entre emissor, objecte i receptor donant nom al mètode de càlcul "triangulació".

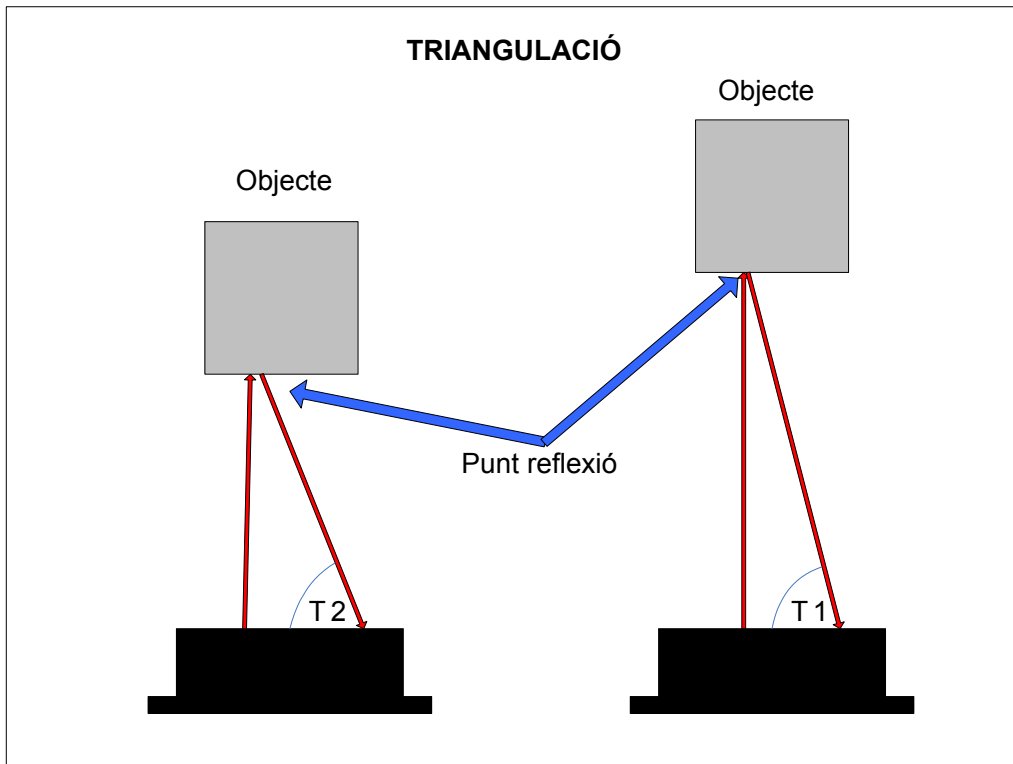


Figura 5-10. Angle Θ variable en funció de la distància del objecte.

S'aprecia que els angles Θ_1 i Θ_2 són diferents en funció de la distància. Aquest mètode és en la majoria de casos poc sensible a les interferències generades per la llum ambiental i per el color del objecte que s'està sent detectat, per tant en alguns casos es podria arribar a detectar¹ una paret negra en un dia a ple sol.

¹ En l'apartat 8 avaluem les prestacions dels detectors d'infrarojos en el microrobot.

5.5.2. SHARP GP2D12

Per al prototipus s'ha triat el model GP2D12 de la casa *Sharp* (que funciona com es veu a Figura 5-11 amb el mètode de la triangulació). Aquest sensor un cop ha detectat un objecte en el seu rang d'utilització transforma el senyal del PSD¹ en un valor de voltatge proporcional, que es pot llegir en un convertor analògic digital².

Aquest ha estat el motiu de la elecció del model GP2D12 enfront del GP2D02, també de la casa *Sharp*, el qual envia les dades digitalitzades en un valor de 8 bytes que es pot llegir en sèrie. Tenint en compte que el 80c552 disposa de 8 canals AD (són els 8 pins del port 5), és la solució més apropiada.

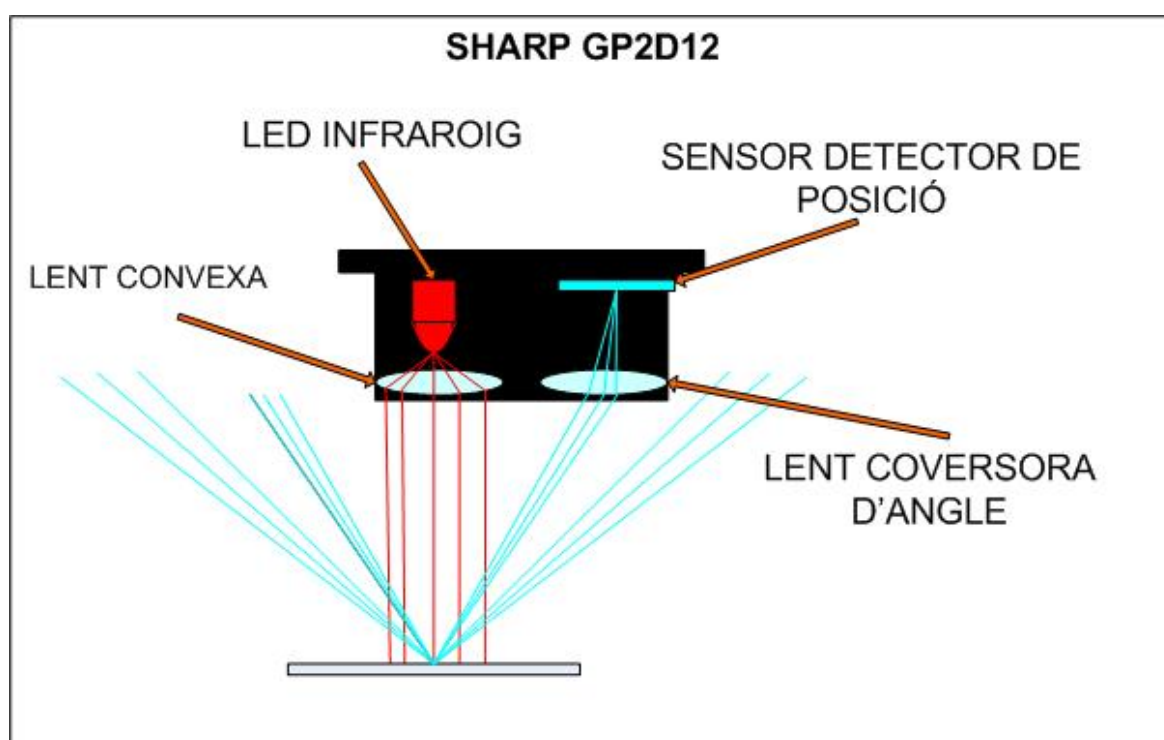


Figura 5-11. Funcionament del sensor d'infrarojos GP2D12.

¹ PSD de l'anglès position sensor detector.

² Conversos Analògic – Digital o més conegut en la literatura com ADC (analògic- digital conversor).

Les restants característiques del GP2D12 són:

- Tensió alimentació (V_{cc}) entre 4,5 i 5V.
- Intensitat (I_{cc}) dissipada màxima 50 ma.
- Rang de funcionament entre 10 i 80 cm (veure Figura 5-12).

I les característiques del ADC del 80c552 són:

- 8 canals d'entrada multiplexats (per poder escollir quin canal utilitzar en cada conversió).
- Una resolució de 10 bits.
- Temps de conversió de 50 cicles de màquina ($50/12 \cdot 10^{-6} = 4,16 \mu\text{seg}$).
- Possibilitat d'iniciar conversió per software o hardware.

En la Figura 5-12. mostrem el valor analògic del sensor en funció de la distància mesurada:

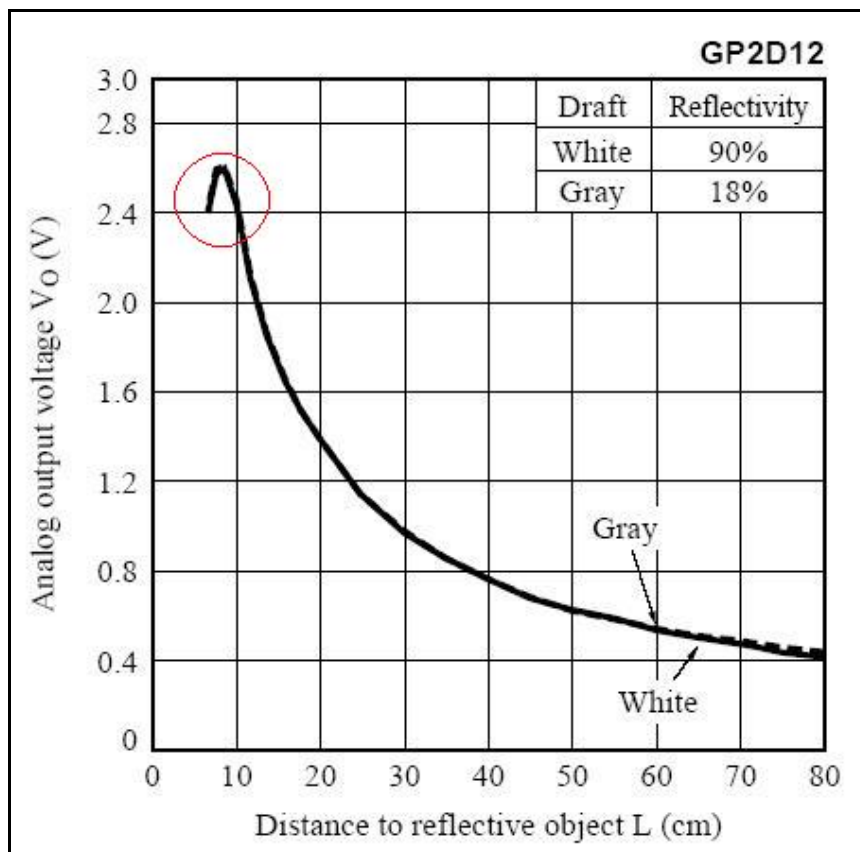


Figura 5-12. Voltatge - Distància del objecte reflectit.

Font [5]

Com s'observa en el gràfic de la Figura 5-12., el sensor no és ideal, si ho fos la senyal seria proporcional a la distància existent entre el objecte i el sensor, però la corba resultant difereix molt de ser una recta, tendint a una forma exponencial.

Podem establir la següent relació entre el valor analògic i el digital:

$$RESULTAT_{ADC} = 2^n \cdot \frac{V_{in} - AV_{ref}}{AV_{ref+} - AV_{ref-}} \quad (\text{Eq.5-3})$$

On "Vin" és el valor analògic proporcionat pel sensor, "AVref+" el valor de referència positiu (5V), "AVref-" el valor de referència negatiu (0V) i "n" el nombre de bits utilitzats per a la conversió. Per tant, si usem 10 bits obtenim una resolució de 4,88mV, mentre que si utilitzem 8 bits la resolució obtinguda és de 19,53mv.

Aquesta resolució serà suficient per estimar la distància i ens facilitarà la programació, ja que el 80c552 emprà variables múltiples de 8 bits. Per al càlcul de la distància només caldrà enfrontar el valor obtingut de la conversió ADC (RESULTAT_{ADC} en l'equació (Eq.5-3)) amb una taula realitzada de forma experimental on hi hagi emmagatzemats prèviament els valors de la conversió i la distància real a l'objecte.

Una de les altres característiques a tenir en compte de la gràfica és la incertesa en el valor de la mesura quan el objecte es troba a menys de 10 cm, ja que el valor de voltatge analògic obtingut per un objecte que es trobi a 5 cm pot ser el mateix que un que es trobi a 10 cm (veure el cercle vermell de la Figura 5-12).

Per evitar aquest problema, els sensors d'infrarojos estan col·locats a una distància tal que la distància dels sensors a la superfície de la plataforma, més la distància de seguretat que ens ofereixen els bumpers (veure Figura 5-13) impedeixi la realització de qualsevol mesura mitjançant els IR, ja que prèviament ja hi haurà hagut la informació dels sensors de contacte.

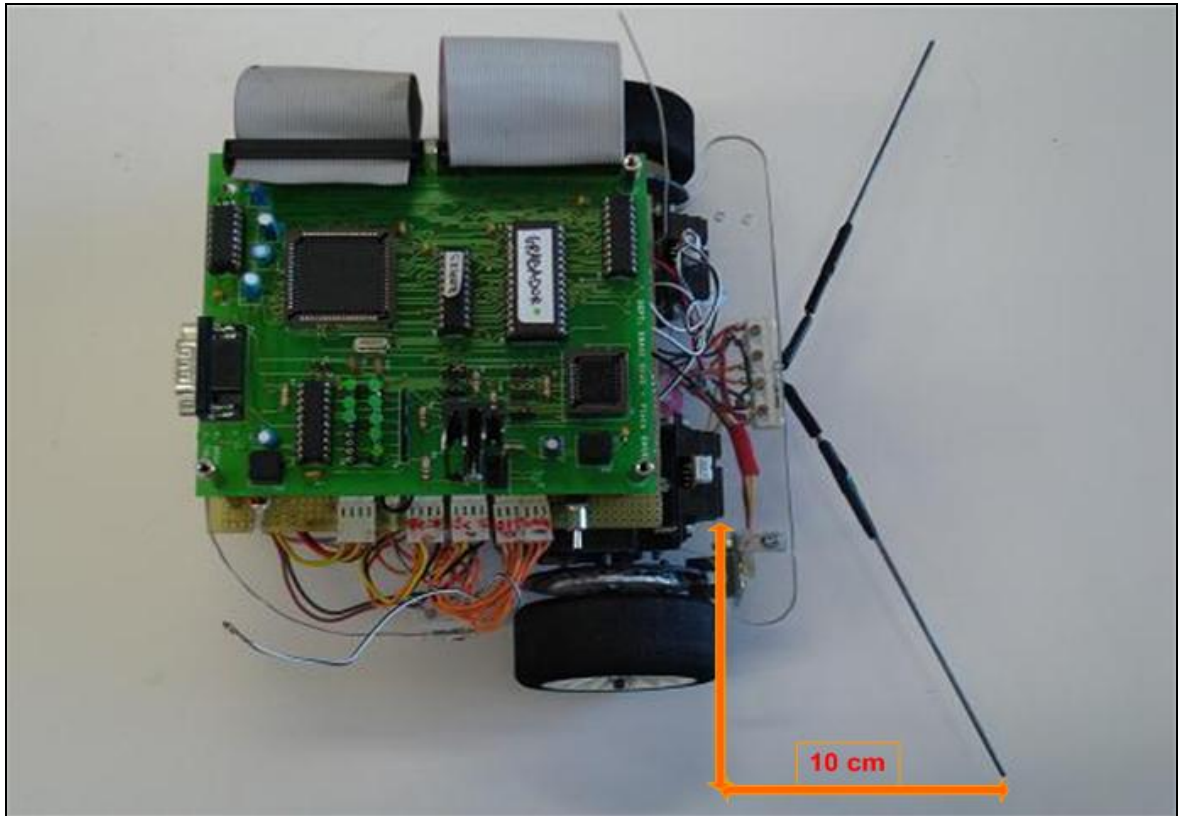


Figura 5-13. Col·locació dels bumpers i dels Sensor IR.

5.6. Font alimentació i Regulació

El consum energètic serà la suma dels principals components escollits (actuadors i sensors).

Una de les pràctiques habituals és la de proporcionar dos fonts d'alimentació, una per als motors i l'altre per a la electrònica. Aquesta elecció és fonamental en el cas que els motors generin una gran quantitat de soroll electromagnètic a la font d'alimentació. Una altra alternativa és la de utilitzar una única font d'alimentació (veure Figura 5-14) i generar a posteriori els diferents voltatges necessaris mitjançant convertidors de contínua-contínua (DC-DC).

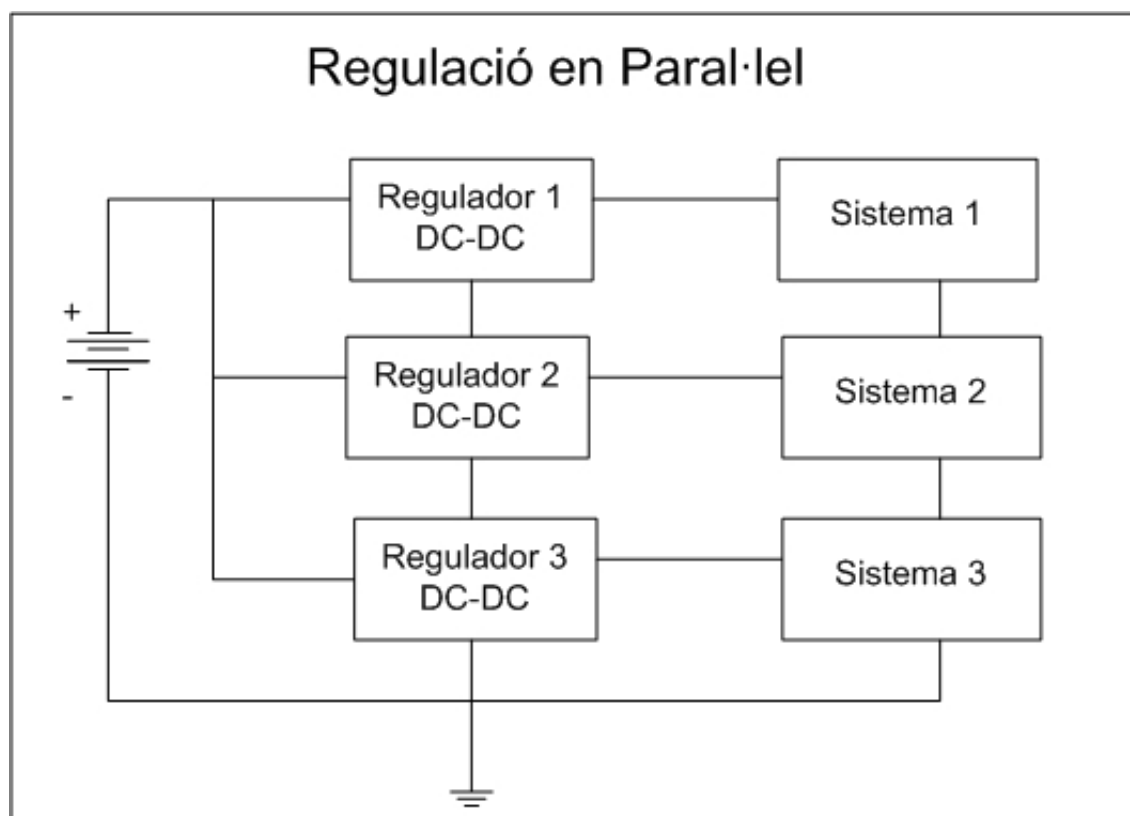


Figura 5-14. Regulació en paral·lel des d'una única font alimentació.

Font: [6]

Tenint en compte que es desitja unes dimensions reduïdes (dues fonts d'energia impliquen generalment més pes i més espai) i que els motors utilitzats no són molt grans i no requereixen un consum d'energia elevat en el prototipus s'implementa la segona opció. Per tant, s'utilitza una sola font d'energia a partir de la qual mitjançant reguladors lineals de baixa tensió¹ proporcionarem als diferents subsistemes els voltatges requerits.

5.6.1. LDO-Reguladors lineals de baixa tensió:

Són reguladors molt emprats a causa del seu baix cost i a que el seu funcionament és molt senzill.

Les característiques principals són les següents:

- Generalment són dispositius de tres potes: voltatge d'entrada, voltatge de sortida i terra.
- Si el voltatge de entrada és major que el què es necessita a la sortida, una determinada quantitat (aquesta es coneix a la literatura com "dropout voltage"), aleshores la tensió de sortida del regulador serà constant encara que canviï la tensió d'entrada. Per exemple, si tenim un "Dropout" de 300 mV amb un voltatge de sortida de 5 volts regulat, per garantir aquesta regulació és necessari que a l'entrada tinguem 5,3 V.

Per tant, els paràmetres a considerar en el nostre disseny són:

- Voltatge Sortida: És el paràmetre més important. La majoria són d'un valor fixat encara que n'hi ha de configurables per obtenir nivells variables de tensió a la sortida.
- Màxim Corrent de Sortida: Els LDO poden subministrar un corrent màxim de sortida, aquest paràmetre s'ha de tenir en compte també en funció de la càrrega.
- "Dropout" Voltage: Aquest és el mínim voltatge addicional a la entrada del regulador que produeix un voltatge regular a la sortida.

¹ En la literatura en anglès els reguladors de baixa tensió se'ls coneix com LDO, "Low drop-out Voltage regulators".

- Corrent de terra: És el corrent utilitzat pel regulador i que no utilitza la càrrega. El regulador ideal minimitzarà aquest corrent. Aquest paràmetre però poques vegades es té en compte, ja que aquest corrent tendeix a ser molt petit.

5.6.2. Esquema de Regulació del microrobot

Encara que la placa de desenvolupament té un LDO que regula la tensió d'entrada a la placa a 5V (el 7805) no era viable la seva utilització per regular la tensió del microrobot, ja que si tenim en compte la potència que ha de dissipar un regulador, i que ve definida per la següent equació:

$$P_d = [V_{in} - V_{out}] \cdot I_{out} + (V_{in} \cdot I_{GND}) \quad [W] \quad (\text{Eq.5-4})$$

On:

- P_d és la potència a dissipar en W.
- V_{in} és el voltatge d'entrada.
- V_{out} el voltatge regulat de sortida, I_{out} la intensitat regulada de sortida.
- I_{GND} són els corrents de derivació a terra.

I agafant els valors més desfavorables¹ $V_{in}=12V$, $I_{out}=1A$, $V_{out}=5V$ i despreciant I_{GND} obtenim una potència a dissipar de: 4,5 W.

¹ Durant el transcurs del projecte es va utilitzar la font d'alimentació per a realitzar algunes proves amb els subsistemes, per a evitar sobre escalfaments i mal funcionaments produïts per el calor es va col·locar un dissipador de calor sobre l'encapsulat del 7805 i es va limitar la tensió d'entrada a 9V. Però de totes maneres l'escalfament del regulador i del dissipador eren considerables.

Si observem la potència que pot dissipar el 7805 (amb un encapsulat T0-220) segons les seves especificacions (Figura 5-15) veiem que a una temperatura ambient de 25° no arriba a dissipar 2,5W i per tan és insuficient.

A més a més, el corrent de sortida està limitat a un amper i, per tant, és insuficient sota algunes condicions de funcionament (per exemple quan els motors hagin de subministrar molt parell per a pujar una pendent).

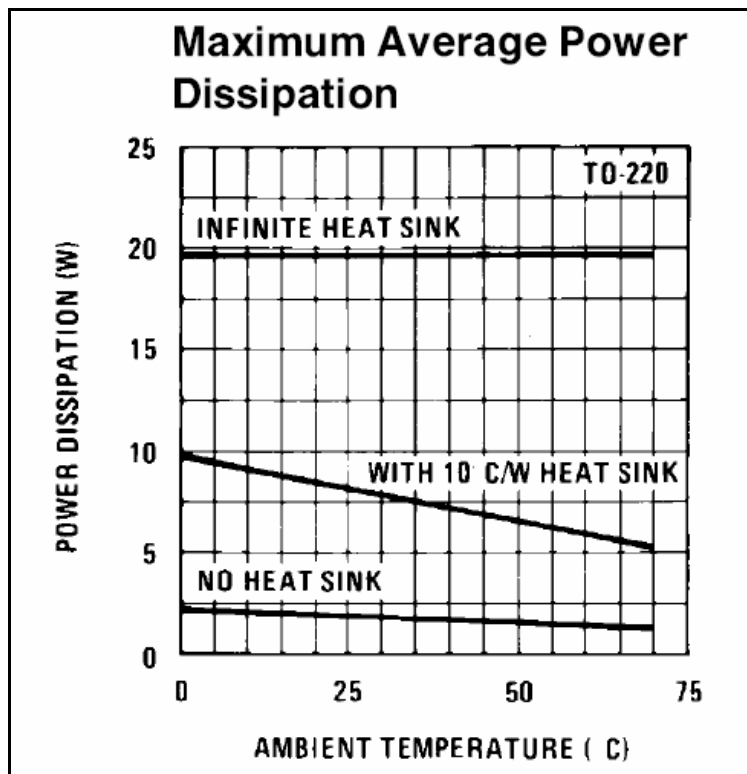


Figura 5-15. Poder de dissipació del 7805.

Font: [7]

El prototipus requereix un voltatge d'alimentació pel que respecta als motors d'un voltatge que oscil·la entre els 4,8V i els 8 V. Els motors poden arribar a consumir en el cas més desfavorable de 1.5 A i en condicions normals al voltant dels 400-500 mA.

La electrònica dels sensors i la placa de desenvolupament necessiten una alimentació constant de 5V, on el consum màxim de corrent està al voltant des 400 mA (en condicions normals uns 300 mA).

- 200 mA la placa d'avaluació
- 50 mA cada Shrap GP2D12 (50 mA és el consum màxim, típic de 30 mA).
- 100 mA La resta de circuiteria de la lògica.

A més, s'ha de pensar que el robot pot necessitar en el futur algun sensor o element que requereixi un consum més elevat i per en aquest cas és millor sobre dimensionar el LDO escollit.

L'esquema de regulació que finalment s'escull és el següent:

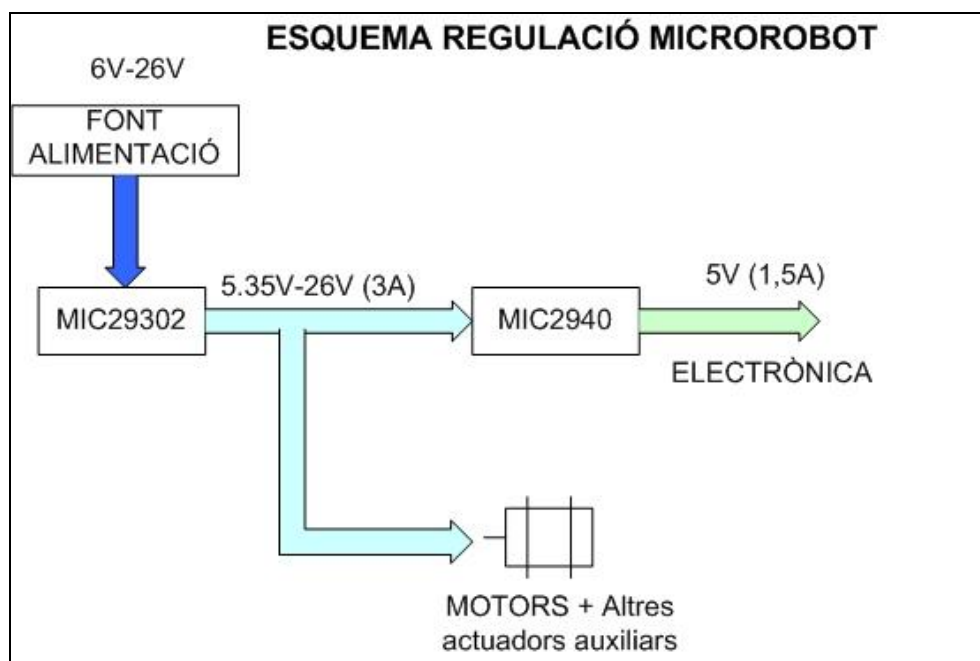


Figura 5-16. Esquema de regulació etapa de potència

Com s'aprecia en l'esquema de la figura (Figura 5-16) l'electrònica dels sensors i els actuadors i la placa de desenvolupament (que rep l'alimentació a través dels ports d'expansió) són alimentats mitjançant el LDO 2940 de la casa *Micrel*.

Les característiques del MIC2940 són les següents:

- Un voltatge de sortida regulat a 5V.
- Un corrent de sortida màxim de 1,5A.
- Un voltatge “dropout” màxim de 350 mV. Aquest arriba com a màxim a 350 mV quan el corrent de sortida sigui màxim (1,5A). Per tant, si tenim en compte aquest valor necessitarem a l'entrada del MIC29420 un voltatge d'entrada mínim de 5,35V (en realitat és menor ja que no s'arriba al consum màxim de 1,5A).
- Un voltatge d'entrada admissible de 26V a 5,35V.

Prèviament es realitza una regulació mitjançant el LDO 29302 (també de la casa *Micrel*). Aquest regulador té com a característica principal, a diferència del MIC2940 que el voltatge de sortida és ajustable mitjançant unes resistències auxiliars (veure Figura 5-17)

Els objectius d'aquesta etapa prèvia de regulació ajustable són bàsicament tres:

1. Donar als actuadors un voltatge regulat d'un valor constant.
2. Minimitzar els efectes de no tenir unes bateries amb un voltatge constant (a mesura que les bateries són utilitzades el seu voltatge disminueix).
3. Minimitzar els efectes de soroll electromagnètic que puguin produir els motors.

Les característiques del MIC29302 són pràcticament idèntiques exceptuant la ja esmentada possibilitat de regular la tensió de sortida i el corrent màxim que pot subministrar (3A), que de forma obvia ha de ser més gran que en el cas del MIC2940. ja que haurà de subministrar el corrent tant als actuadors com a l'electrònica.

A la figura següent es mostra la primera etapa de la regulació mitjançant el MIC29302

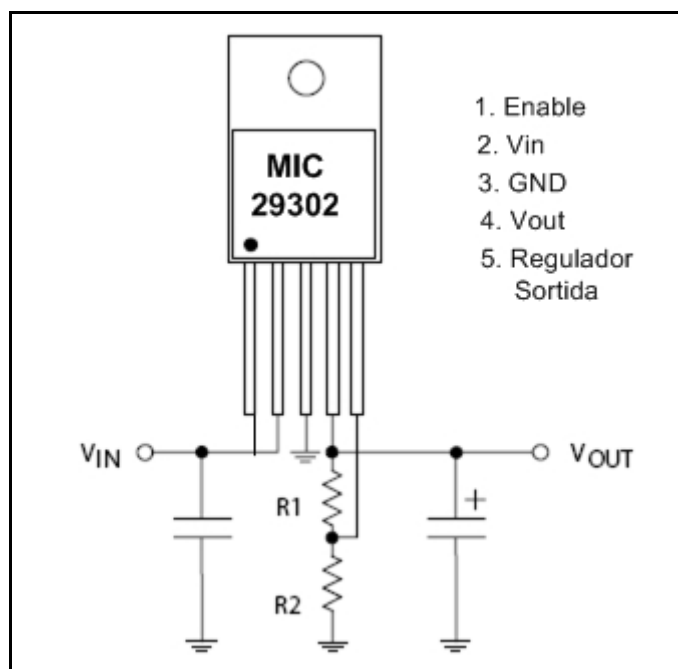


Figura 5-17. Regulació de la primera etapa de potència. MIC29302. Font: [6]

El voltatge de sortida (V_{out}) es pot ajustar en funció d'unes resistències mitjançant la següent relació:

$$R1 = R2 \cdot \left(\frac{V_{out}}{1,240} - 1 \right) \quad [\Omega] \quad \text{(Eq.5-5).}$$

Per a $R2$ s'ha escollit una resistència d'un valor fixa de 75Ω i per a $R2$ un potenciòmetre ajustable entre 0 i 450Ω , per tant, obtenim uns valors de tensió a la sortida (V_{out}) comprès entre uns valors de (1,240-8,68) V. S'ha de tenir en compte que el voltatge ha de tenir un mínim suficient per poder realitzar la segona regulació (uns 5,35) i el màxim valor pot estar limitat per les bateries utilitzades.

Per a finalitzar el disseny dels LDO's s'han tingut en compte els següents punts:

- Per garantir una estabilitat i un mínim soroll a la sortida el fabricant recomana un condensador a la sortida. La capacitat d'aquest depèn del corrent de sortida i per tant de la càrrega. Per a la família dels MIC29300 es recomana utilitzar un de capacitat $10\mu\text{F}$.

- Per a cadascuna de les dues regulacions s'han utilitzat dops interrupcions, com a dispositiu de seguretat. A més a més, aquests interruptors realitzen la funció d'ON-OFF del microrobot.

5.6.3. Elecció de les bateries

Existeixen una gran quantitat de tipus i tecnologies en el camp de les bateries. Una bateria converteix energia química en energia elèctrica en funció de les necessitats de la càrrega. Les característiques ha tenir en compte d'una bateria són les següents:

- *Energy Density* (Densitat d'energia): Quantitat d'energia per unitat de massa. És equivalent a dir a quina alçada es capaç d'elevat el seu propi pes una bateria en un camp d'un 1g. Es sol mesurar en:

$$ED(\text{Densitat_d' Energia}) = \frac{\text{energia}}{\text{pes}} = \frac{\text{joules}}{\text{newtons}} = \text{metres} \quad (\text{Eq.5-6})$$

- *Power Density* (Densitat de potència): És equivalent a la velocitat màxima que podria arribar un sistema que poques dedicar tota la seva potència a moure el seu propi pes en un moviment vertical.

$$PD(\text{Densitat_de_Potència}) = \frac{\text{potència}}{\text{pes}} = \frac{\text{joules/s}}{\text{newtons}} = \frac{\text{metres}}{\text{s}} \quad (\text{Eq.5-7})$$

- *Capacitat*: Quantitat d'energia que emmagatzema una bateria, no és res més que la intensitat que ens pot donar la bateria en un període de temps. S'expressa en ma – h.(mili ampers- hora).
- *Self Discharge*(auto descàrrega) : Mesura de quanta càrrega perd la bateria si no alimenta cap càrrega externa.

En el següent quadre es resumeix les propietats de diferents tecnologies referents a les bateries:

TIPUS	ED [Wh/Kg]	PD [W/kg]	AutoDescarrega/mes [%]	Nombre de Càrregues per 80%
Pb-acid	30-45	200	5	200-1000
Ni-Cd	40-50	190	15	500-1000
NiMh	50-60	180	25	500-1000
Liti	130	800	5	1200
Ag-Zn	140-200	100-330	4	100-250
Ag-Cd	55-95	100-220	4	300-500

Taula 5-2. Prestacions diferents tecnologies bateries

Font: [8]

Una de les característiques que no es mostren a la taula i es un factor important, és que una bona bateria hauria de mantenir el voltatge constant a mesura que la càrrega de la mateixa va disminuint i fins a la descarrega total (les bateries de liti són les que tenen millor comportament).

També resulta obvi que cap de les tecnologies anterior no pot competir amb el petroli i els seus derivats pel que respecta a la densitat d'energia (que tenen de mitjana una densitat d'energia de 12000 Wh/g). Però el volum que ocupa on motor de combustió per a transformar el combustible en energia és inviable en el nostre disseny.

Per al nostre microrobot s'utilitzen finalment unes bateries de NiMH d'una capacitat de 1600mAh (cada cel·la té un voltatge de 1,35 V quan està carregada). S'empren un total de 6 cel·les. Que ens ofereixen un voltatge aproximat de 8,1 V (quan les bateries són acabades de carregar). Aquesta solució no és única i moltes de les tecnologies del quadre anterior podrien ser utilitzades en el disseny actual del microrobot, ja que les densitats d'energia són suficientment grans per als nostres requeriments.

Un dels motius per la elecció de les bateries de Níquel Metal Hidrur (NiMH) és que ofereixen unes prestacions lleugerament superiors a les de Ni-Cd (no sent molt més cares) i comercialment no són difícils d'aconseguir. Un dels factors negatius de les bateries de NiMH és el factor de autodescàrrega que pot arribar a ser superior al 25% mensual. Però en el cas del microrobot que haurà de ser recarregat amb una freqüència moderada és un factor de poc pes.

Si tenim en compte que el consum total aproximat del robot es d'uns 800 mA (400 mA els motors i 400 mA la part electrònica) i que les bateries tenen una capacitat de 1600mAh, això ens dóna una autonomia aproximada d'unes dues hores.

5.7. Disseny i construcció Electrònica del microrobot

Per al desenvolupament de la placa que engloba la part electrònica i la interfície de comunicació amb la placa de desenvolupament, s'ha intentat realitzar el disseny i la construcció mitjançant tècniques que limitin el soroll (sobretot produït pels motors).

S'han emprat una placa de "baquelita" i per a la construcció (veure Figura 5-18 i Figura 5-19) s'ha utilitzat una tècnica que s'anomena Wire-Wrap¹. Els cables de "Wire Wrap" no s'han passat per sota dels xips (sempre que ha estat possible) i s'ha intentat que tinguin la longitud ni massa curta ni massa llarga. La avantatge d'utilitzar aquesta tècnica és la relativa facilitat per realitzar canvis si hi ha modificacions en el disseny.

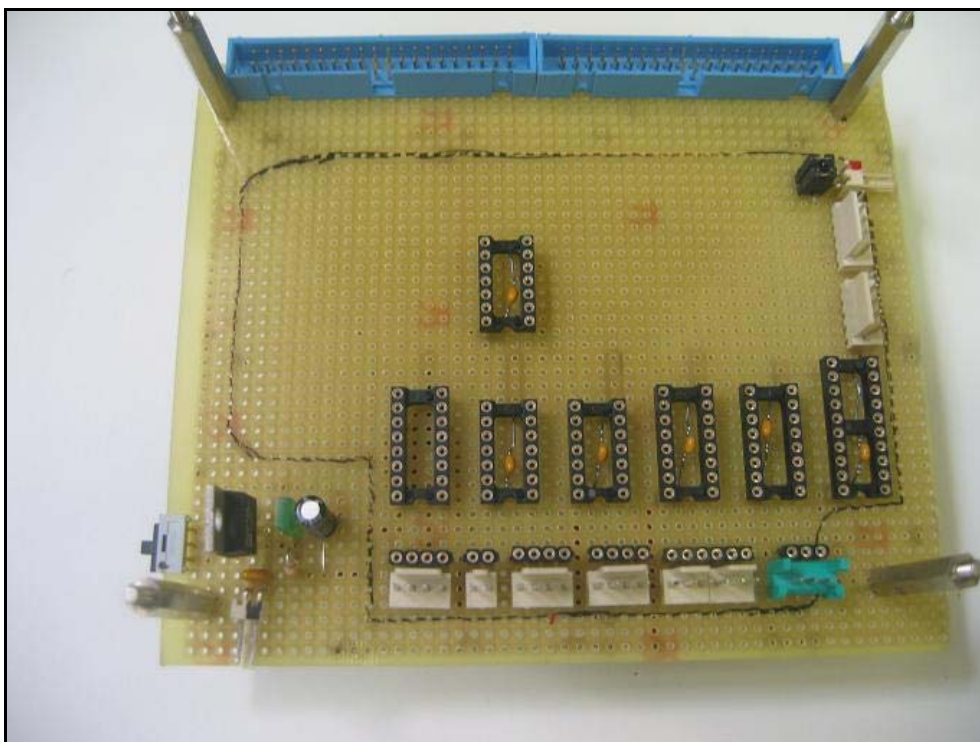


Figura 5-18. Vista superior de la placa electrònica en construcció.

¹ El "Wire Wrap" combina la tècnica de la soldadura amb la utilització d'una pistola per a poder fixar els cables als sòcols, que disposen d'unes extensions per a poder introduir la pistola.

Com s'aprecia a la imatge de la Figura 5-18 s'han utilitzat condensadors de $0,1\mu\text{F}$ per desacoblar cada component. A més a més, s'ha generat un "pla de masses" al voltant de la placa on la línia exterior és (Vcc) i la interior és el terra (a la imatge de la Figura 5-18, s'aprecia rotulada amb negre la línia interior de massa).

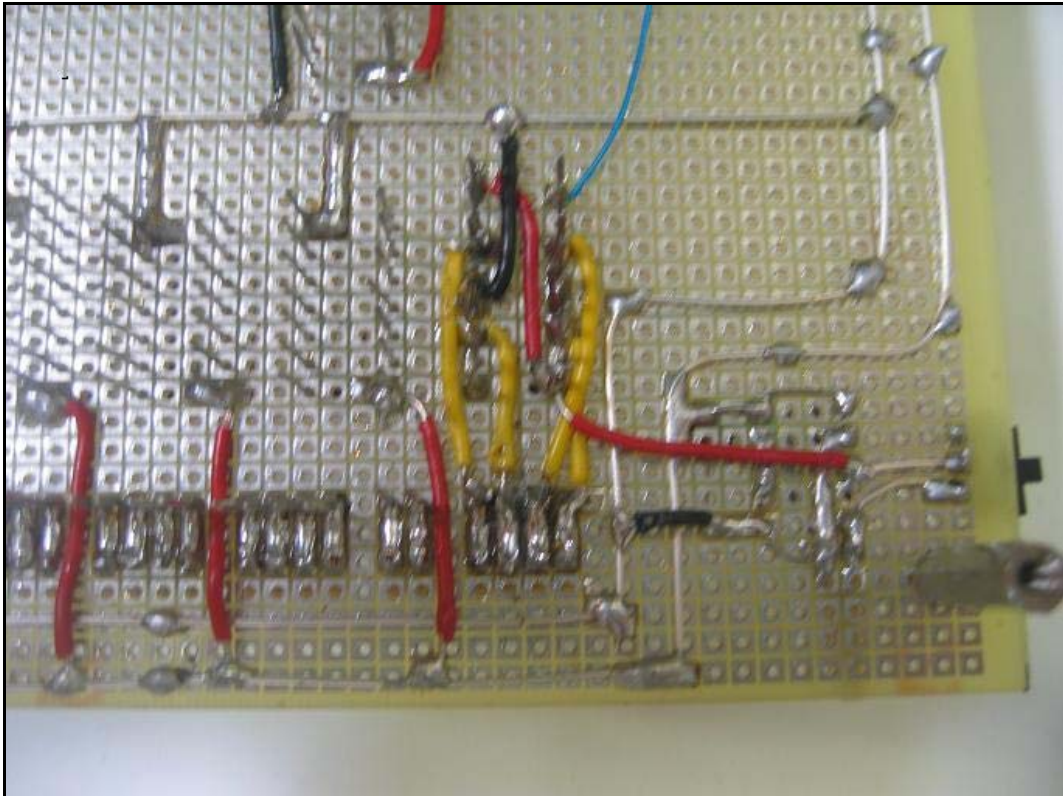


Figura 5-19. Vista inferior de la placa electrònica en construcció.

A la part exterior de la Figura 5-19 s'observa el pla de masses (els cables d'alimentació s'han procurat que siguin el més rectes possibles). La majoria de components disposen de sòcols preparats per utilitzar cable "wire wrap" i, a més a més, s'han realitzat diferents soldadures al voltant de la placa per evitar sobreescalfaments.

6. Entorn de la plataforma

Un cop es va desenvolupar el prototip base del microrobot calia dotar-lo d'elements que permetessin disposar d'una major autonomia (no entenent autonomia com el temps màxim que el robot pot funcionar sense recarregar o de canviar les bateries), sinó com la possibilitat de poder intercanviar informació i la possibilitat d'autocarregar les bateries en un carregador.

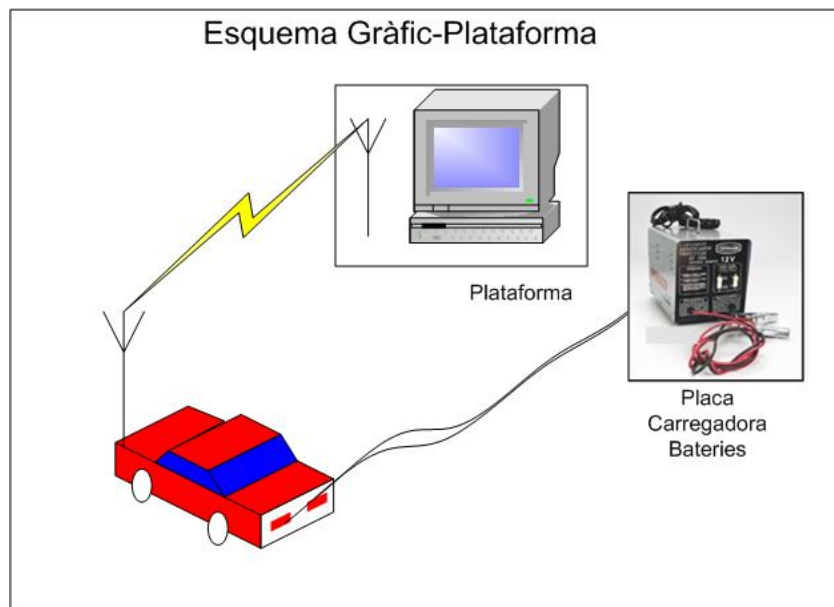


Figura 6-1. Esquema Gràfic funcionalitat plataforma.

6.1. Mòdul de Ràdio

6.1.1. Comunicació sense fils

Un aspecte a tenir en compte és el tipus de comunicació del microrobot amb la plataforma o amb altres microrobots. És necessari la creació d'un sistema de comunicació sense fils. Si ja és complicat la utilització d'un cable per comunicar el robot amb un PC quan aquest es troba en moviment aquesta comunicació encara resulta més impensable entre dos objectes mòbils.

Quan els electrons es mouen creen ones electromagnètiques que es poden propagar en l'espai lliure. Al connectar-se una antena apropiada a un circuit elèctric les ones electromagnètiques poden ser difoses de forma eficient i captar-se per un receptor a una certa distància. Tota comunicació sense fils es basa en aquest principi.

Existeixen bàsicament dues tecnologies de baix cost i prestacions acceptables:

- **Ràdio freqüència:** Les ones de ràdio són fàcils de generar, poden viatjar a llargues distàncies i penetrar edificis sense problemes (s'utilitzen tant en interiors com en exteriors). Les ones de ràdio són omnidireccionals per tant el transmissor i el receptor no han d'estar alineats (gran avantatge respecte a la comunicació infraroja). Les ones de ràdio però estan subjectes a interferències de motors i equips elèctrics.
- **Infrarojos:** Las ones infraroges s'utilitzen molt per a la comunicació de curt abast. Tenen l'inconvenient de ser direccionals i de no travessar objectes sòlids. Aquest curt abast de la comunicació (uns 5 metres) i la direccionalitat de la comunicació obliguen a la permanent disponibilitat d'un escenari adequat per tenir èxit en la transmissió i/o recepció.

Tenint en compte les limitacions de la comunicació infraroja, que obliga a orientar el robot en una direcció determinada implementarem en el microrobot la primera opció.

6.1.2. Hardware de comunicació

Per a la construcció del mòdul de ràdio s'utilitza un transreceptor de la casa *Radiometrix*, el "BIM2-433-160". El BIM2 és un transreceptor half-duplex que es pot utilitzar en aplicacions bi-direccionals per transmetre dades a altes velocitats i fins un rang que pot arribar a 200 metres¹.

¹ Com anècdota notar que realitzant proves de comunicació des del laboratori d'ESAII de robòtica (laboratori 545) fins a l'altre extrem de la universitat (recepció dels departaments de l'IRI) la transmissió i la recepció de dades va ser satisfactòria.

Les altres característiques del BIM2 són les següents:

- Tensió alimentació de 3,3V i 5V.
- Corrent inferior als 20 mA (en la versió de 5V).
- 200 metres d'abast en exteriors, 50 metres en interiors.
- Transferència de dades màxima de 160kbps.
- El BIM2 està certificat per la CE segons la directiva R&TTE (1995/5/EC).

La freqüència de transmissió/recepció d'aquests transreceptors és de 433 MHz. Aquesta freqüència està dintre del rang de les freqüències destinades a la investigació.

La idea bàsica del funcionament de la comunicació mitjançant els transreceptor BIM2 és la següent:

El sistema que desitja transmetre (ja sigui el PC o el robot) li envia les dades al BIM2, aquest és l'encarregat de convertir la informació digital a un format d'ona, mitjançant un procés de modulació i una ona portadora. El BIM2 que rep les dades rep aquest senyal i el desmodula, és a dir, converteix les ones a un format digital, que és el que arriba finalment al sistema receptor (el PC o el robot).

Per transmetre/rebre aquestes dades mitjançant el PC utilitzarem el port sèrie que habitualment porten integrats, mentre que per al microcontrolador utilitzarem les funcionalitats del PORT 3 (concretament el pin 3.0-RXD i el pin 3.1-TXD) que disposa d'un FULL DUPLEX UART¹.

El port sèrie del PC és compatible amb el Standard RS-232, aquest Standard de comunicacions va ser dissenyat als anys 60 per comunicar un DTE ("*Data Terminal Equipment*", un PC) amb un DCE ("*Data Communication Equipment*", generalment un mòdem) però avui en dia s'utilitza d'una forma més general per comunicar dos dispositius qualsevol que disposin d'un UART.

¹ UART és l'acrònim de "*universal asynchronous receiver-transmitter*", circuit integrat preparat per a la comunicació sèrie. Encara que el micro disposa de la possibilitat de transmetre i rebre a la vegada donat que el BIM2 és només HALF-DUPLEX queda limitada aquesta prestació.

A continuació presentem un esquema de com el port sèrie envia un byte segons un dels molts standards dels quals està compost el protocol RS-232 (en aquest Standard per enviar 8 bits de dades fan falta 10 bits):

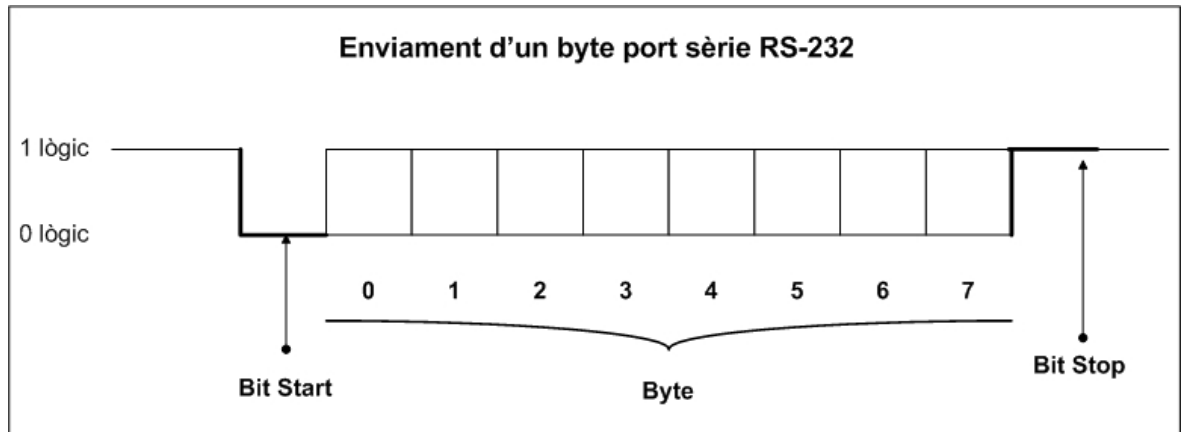


Figura 6-2. Enviament d'un byte mitjançant el port sèrie.

Com s'observa en la Figura 6-2, el port sèrie roman a un nivell lògic alt mentre està en repòs. Quan s'inicia la transmissió transmet un bit d'inici a nivell lògic baix, i a continuació transmet el byte a enviar començant pel bit de menys pes. Un cop ha transmès el bit de més pes enviar un bit lògic alt i romandrà a aquest nivell fins la transmissió d'un nou byte.

6.1.3. Mòdul de Ràdio PC.

Per al disseny del mòdul de ràdio que s'utilitzarà sobre el PC s'ha construït un esquema funcional recomanat pel fabricant (veure Figura 6-3).

Els connectors més habituals són els DB-25 (25 pins) o DB-9 (9 pins), però la majoria d'aquests pins no s'utilitzen (concretament només s'utilitzen tres). Els voltatges¹ per a un nivell lògic alt estan entre -3v i -15V, i el nivell lògic baix es troba entre +3V i +15V.

¹ Els més comuns són: 12V per un nivell lògic baix i -12V per un nivell lògic alt.

Per a l'adequació dels nivells de voltatge que utilitza el port sèrie del PC a nivell TTL o CMOS s'utilitza el xip integrat MAX232. L'esquema funcional implementat sobre el mòdul receptor-emissor del PC és el següent:

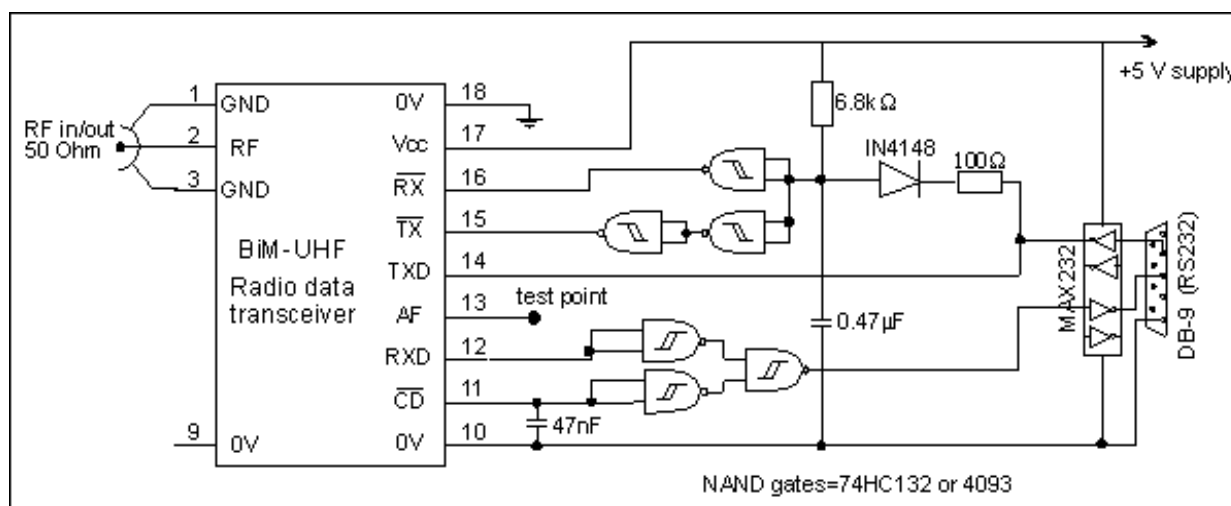


Figura 6-3. Esquema funcional del mòdul de Ràdio del PC.

Font [8]

Com s'aprecia a la figura (Figura 6-3) els tres pins que s'utilitzen del connector DB-9¹ són:

- PIN 2 TX (del connector DB9): És l'encarregat de configurar el mode de funcionament del transreceptor i d'enviar les dades digitalitzades al transreceptor per ser modulades i enviades.
- PIN 3 RX (del connector DB9): És l'encarregat de rebre les dades del transreceptor un cop digitalitzades i transmetre-les al PC.
- PIN 5 GND (del connector DB9): Senyal de terra.

¹ Per a la connexió amb el PC és necessari la utilització d'un cable creuat.

La placa¹ un cop construïda mitjançant tècniques semblants a les de l'apartat 5.7 té l'estructura següent:

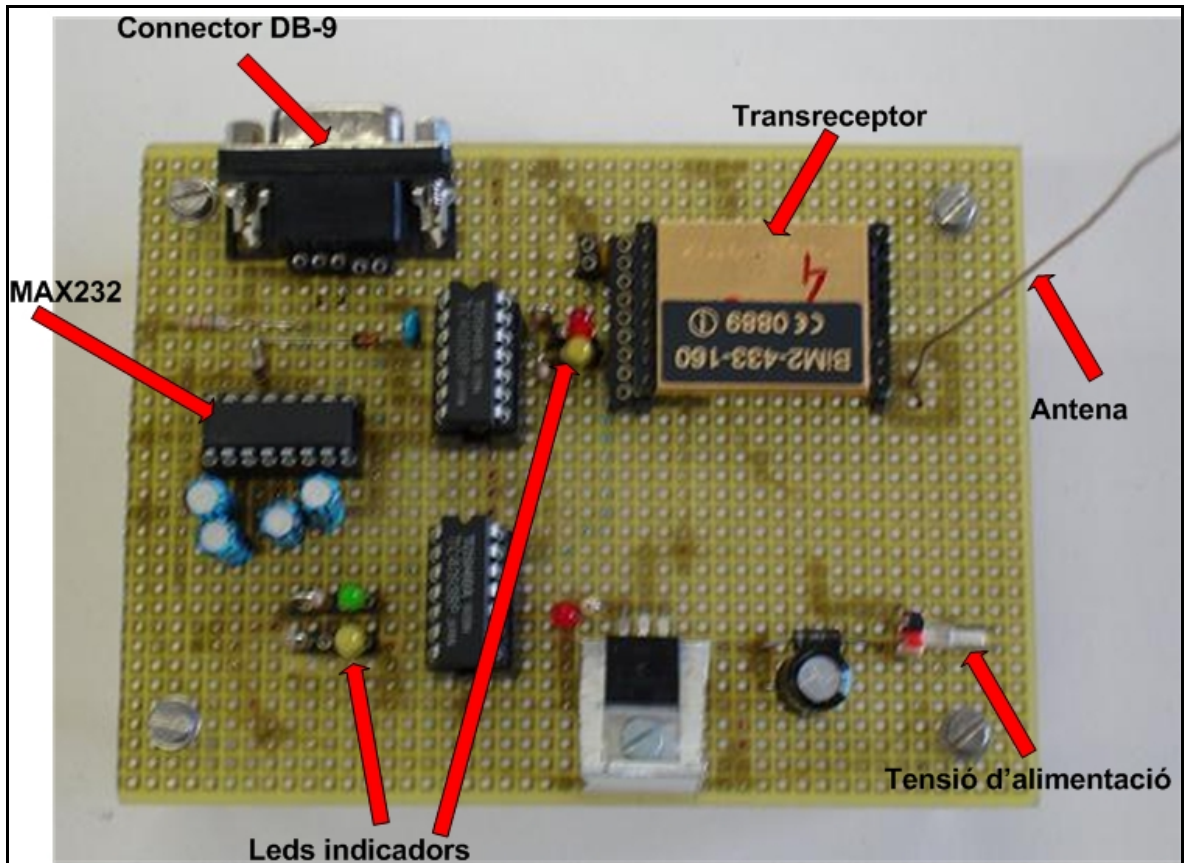


Figura 6-4. Mòdul de Ràdio del PC.

¹ Es disposa de dues plaques idèntiques, ja que abans de realitzar la comunicació entre el micro robot i la plataforma es va decidir provar el hardware entre dos PC. D'aquesta forma resultava molt més senzill depurar el hardware i el software de la plataforma.

6.1.4. Mòdul de Ràdio MicroRobot

Per a la construcció del mòdul de ràdio en el microrobot l'esquema construït és un esquema funcional com el de la Figura 6-5. Aquest esquema és compatible amb la tecnologia TTL i CMOS i s'ha implementat en la placa electrònica comunicant-se amb el microcontrolador mitjançant el port d'expansió.

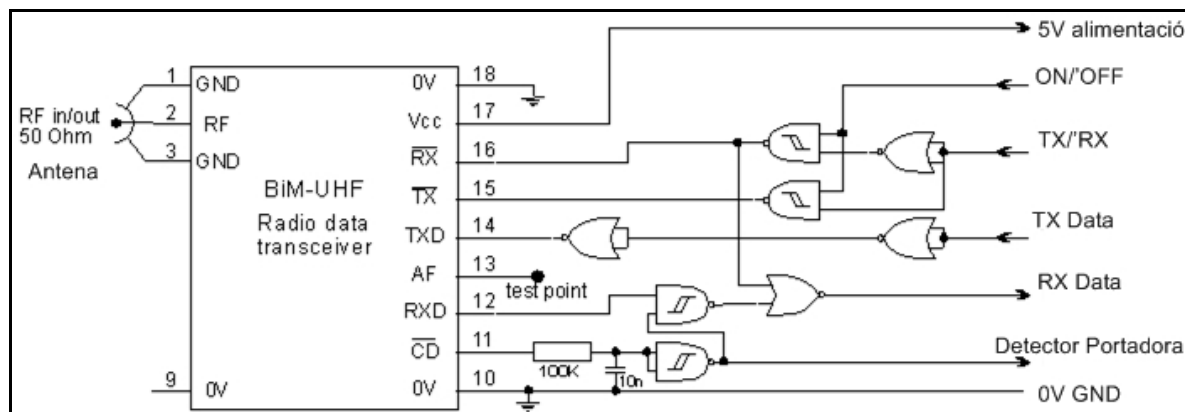


Figura 6-5. Mòdul de ràdio del microrobot

Font: [8]

Ha calgut modificar la placa de desenvolupament degut a que el MAX232 que conté aquesta placa i que permet la comunicació de la mateixa al port sèrie del PC mitjançant una comunicació mitjançant un cable sèrie entra en conflicte amb la part electrònica del mòdul de ràdio.

Encara que no s'estigui realitzant cap recepció mitjançant el port sèrie de la placa de desenvolupament, la sortida del MAX232 de la placa de desenvolupament i que controla la entrada RX del micro (Pin 3.0 del port expansió) es troba a l'aire i, per tant, entra en conflicte amb l'altre sortida (pin RX data de la Figura 6-5) que també governa la pota RX del micro.

Per evitar aquest conflicte s'ha introduït un JUMPER (veure Figura 6-6) que haurà d'estar activat o desactivat en funció de si desitgem utilitzar el mòdul de ràdio (rebre informació mitjançant el BIM2) o la comunicació mitjançant el port sèrie de la placa de desenvolupament (programació del micro).

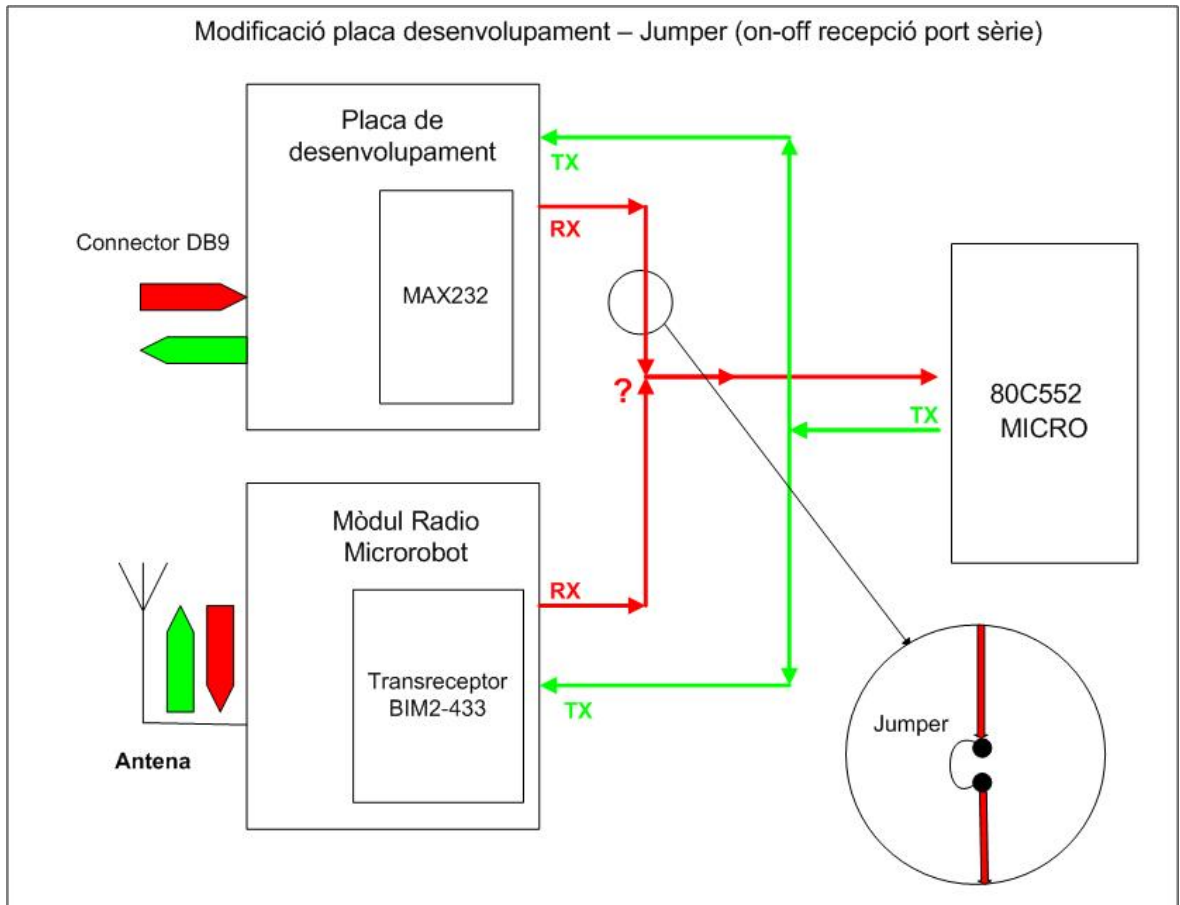


Figura 6-6. Modificació placa desenvolupament – mòdul ràdio.

En el cas que vulguem transmetre informació des del micro (utilitzant el pin TX) no existeix cap conflicte, ja que tant el pin TX data (del mòdul de radio) com el pin TX del MAX232 de la placa de desenvolupament són entrades, i per tant esperen un valor del micro (és a dir, quan utilitzem la transmissió des del micro enviem la informació tant al port sèrie de la placa de desenvolupament com al mòdul de ràdio mentre que si volem rebre informació hem de decidir per quin canal o volem fer).

6.1.5. Software mòdul Ràdio

EL software que s'ha utilitzat per al desenvolupament del mòdul de ràdio i de la plataforma ha estat el Visual C++.

El visual C++ és un entorn integrat de desenvolupament que permet la programació orientada a objectes conjuntament amb les llibreries (API's) de Windows.

Al ser un entorn integrat Visual C++ inclou, entre altres coses, les següents eines de desenvolupament:

- Editor de texts.
- Compilador.
- Depurador.
- Visor de dades.

Mitjançant aquest entorn s'ha desenvolupat una aplicació per tal de rebre i transmetre dades del microrobot, així com monitoritzar l'estat del mateix i dels sensors que porta incorporats.

Degut a que la comunicació mitjançant el mòdul de ràdio no té una fiabilitat del 100% (veure apartat 8) era necessari la creació d'un mecanisme per comprovar que les dades enviades són les correctes (aquest mecanisme de control es pot realitzar de moltes formes, en el software de la plataforma s'utilitza un byte de Cksum).

A més a més, per millor el bon funcionament del BIM2 la informació ha de ser enviada mitjançant una codificació determinada dels bytes que es vulguin transmetre.

Les trames enviades pel microrobot com per la plataforma han de seguir la següent codificació:

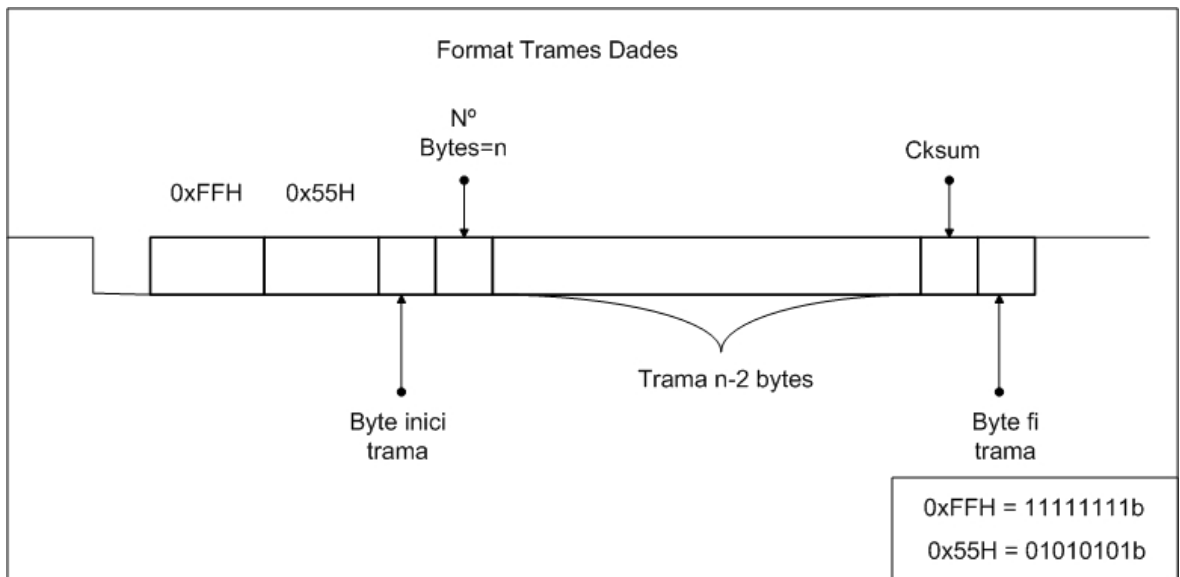


Figura 6-7. Format trames de dades.

- 0xFFH: Aquesta cadena de bits és utilitzada per estabilitzar el UART. L'UART sempre espera una transició 1->0 (bit de start) abans de llegir els següents 8 bits i el bit de stop. De manera que si es col·loca un preàmbul de bytes 0xFFH fem pensar al UART que hi ha un "descans" després del bit de parada de l'últim byte enviat i esperarà a la següent transició 1->0.
- 0x55H: Amb aquest preàmbul de bytes que ha de ser d'uns 4ms "despertem" el transreceptor i el preparem per rebre els següents bits (uns 4 ms equivalen a enviar 4 vegades el byte 0x55).
- Byte inici: Aquest byte ens servirà per detectar l'enviament d'una trama de dades i per tant començar a emmagatzemar les dades enviades. (Aquest és un byte reservat i el valor escollit no pot ser utilitzat en les dades enviades, en l'aplicació utilitzem el caràcter "i" com a indicador de l'inici de trama).

- N° Bytes: Aquest byte ens indicarà quants bytes, incloent ell mateix i el byte Cksum, són enviats en cada trama enviada.
- Trama Dades: Aquí col·loquem les dades a enviar. El fabricant del transreceptor recomana enviar les dades balancejades¹ per tal de garantir millors percentatges de recepció-transmissió. En el cas del microrobot i la plataforma, degut a que les longituds de les trames no són molt elevades (20 bytes), no s'utilitza codi balancejat. El nombre màxim de bytes a enviar per trama és de 250.
- Cksum: L'enviament d'aquest byte ens serveix per comprovar que la trama rebuda és correcte i per tant per poder avaluar i/o tractar les dades.
- Fi trama: Aquest byte indica la finalització de la trama i la possibilitat d'avaluar la trama prèviament rebuda. (Aquest és un byte reservat i el valor escollit no pot ser utilitzat en les dades enviades, en l'aplicació utilitzem el caràcter "f" com a indicador del fi de trama

A continuació es presenta un petit exemple de com realitzem el Cksum:

S'envia la següent trama de dades: 0x76H // 0x03H.

La codificació per tal d'enviar aquesta trama és la següent:

```
0xFF // 0xFF // 0x55 // 0x55 // 0x55 // 0x55 // 0x69 // 0x04 // 0x76 // 0x03 // Cksum // 0x66
```

On:

0x69: És la representació en format hexadecimal del caràcter "i". Indica inici de trama.

0x04: És el nombre de bytes enviats, quatre (l'indicador de quants bytes s'envien, dos bytes d'informació i el Cksum).

¹ Una trama balancejada és aquella que conté un nombre semblant de 1 i de 0.

0x66: És la representació en format hexadecimal del caràcter "f". Indica fi de trama.

El valor del Cksum l'obtindrem de la següent relació (on totes les dades són en format hexadecimal):

$$\text{Cksum} = 0xFF - n^{\circ} \text{bytes enviats} - \sum \text{bytes_trama} \quad [\text{byte}] \quad \text{(Eq. 6-1)}$$

Per tan el Cksum serà igual a 0x82 (0xFF-0x04-0x69-0x03).

De manera que al rebre la trama, si sumen les dades enviades entre l'inici i fi de la mateixa, és a dir entre els caràcters compresos entre el caràcter "i" i el caràcter "f", que en el nostre cas són els limitadors de cada trama (0x82+0x04+0x69+0x03)¹, el valor obtingut ha de ser 0xFF, si algun byte de la trama no s'ha rebut correctament no serà avaluada.

¹ Notar que aquesta comprovació no és infal·libre, per exemple si els dos bytes que enviem son rebuts de forma incorrecta però la seva suma té el mateix valor que els originals la comprovació del Cksum serà correcte però les dades enviades no.

6.1.6. Entorn visual de la plataforma

En la següent figura es presenta l'entorn gràfic de la plataforma:

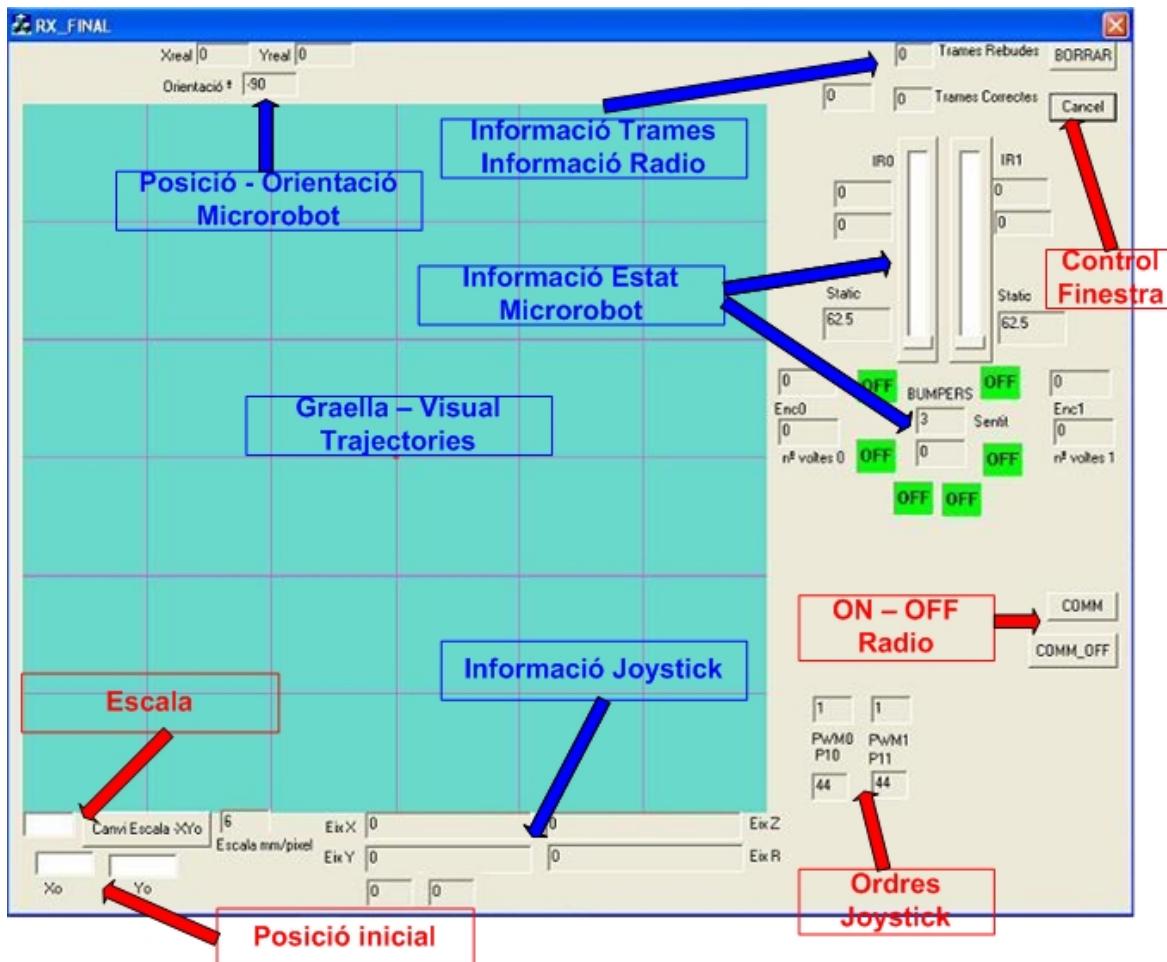


Figura 6-8. Imatge visual de la plataforma

Es mostra per pantalla la informació relativa als encoders i que permeten dibuixar de forma aproximada la trajectòria que està seguint el microrobot amb el seu moviment.

Els rètols marcats en blau (de la Figura 6-8) donen una informació de l'estat del microrobot (senyors), també informen del percentatge de trames rebudes, així com la informació de l'estat del Joystick. També es mostra per pantalla una graella que dibuixa de forma aproximada les trajectòries que realitza el microrobot en funció de la informació que proporcionen els encoders.

Els rètols en vermell (de la Figura 6-8) mostren les opcions que disposa l'usuari per al control de la plataforma i del microrobot. Es pot variar l'escala de la graella i/o la posició inicial del microrobot en la mateixa, iniciar o para la comunicació del mòdul de radio i comandar el robot mitjançant el Joystick.

6.2. Mòdul carregador de bateries

6.2.1. Bateries de NiMH

Les bateries de Níquel Metal Hidruro o més conegudes com NiMH són d'un ús habitual en aplicacions que no precisin una gran necessitat de corrent, tenen un preu molt assequible i s'ofereixen en cel·les de diferents voltatges. Fins fa uns anys les bateries dominadores del mercat de les "piles" eren les bateries de Níquel-Cadmi (Ni-Cd).

Els motius de la major acceptació de les bateries de NiMH front les de Ni-Cd, és deguda a diversos factors:

- Les NiMH presenten una capacitat de càrrega¹ major que les de Ni-Cd, aproximadament un 40% més.
- Presenten un alt nombre de cicles de càrrega-descàrrega².
- A causa d'una resistència interna menor admeten recàrregues més ràpides (1h). També admeten índex³ de càrregues més grans.

¹ C és la sigla de la capacitat de càrrega d'una bateria. Per exemple, les emprades en el robot tenen una Capacitat (una C) de 1600mAh, per tant, poden donar 1600 mA durant una hora o 800 mA durant dues hores.

² A mesura que les piles sofreixen càrregues-descàrregues perden capacitat de càrrega. A partir d'uns 500 cicles d'ús les bateries de NiMH només arriben a un 80% de la seva capacitat.

³ Es defineix com índex de càrrega a la quantitat de corrent que fem circular a través de la bateria per carregar-la.

- Presenten un percentatge nul de cadmi fet que les fa més sostenibles per al medi ambient (aquesta mena de bateries es poden llençar a la brossa, ja que no contaminen).

6.2.2. Tipus de Càrregues

Les bateries de NiMH es carreguen utilitzant una font de corrent (al contrari d'algunes bateries que utilitzen una font de tensió aplicada entre borns). Existeixen diferents tipus de càrregues en funció de l'índex de càrrega que utilitzem (entre parèntesis temps de càrrega aproximats):

- Càrrega Standard o càrrega lenta (12-16 hores)
- Càrrega ràpida (3-4 hores)
- Càrrega accelerada (1 hora)
- Càrrega de goteig (temps indefinit)

Càrrega Standard: En aquest tipus de càrrega també anomenada "lenta", s'utilitza un índex de càrrega de $C/10$. El temps òptim on s'aconsegueix un 100% de la capacitat de la bateria oscil·la al voltant de les 12 hores. Si una bateria no està totalment descarregada no es recomanable utilitzar aquest mètode sense elements de control, ja que les bateries tendiran a sobrecarregar-les i per tant escurçarem la seva vida.

Càrrega ràpida: L'índex de càrrega que s'utilitza acostuma a ser de $C/3$ o $C/4$ i un temps aproximat de 4 hores. En aquest cas, s'han d'utilitzar temporitzadors o s'ha de poder visualitzar l'estat de les bateries per evitar sobrecàrregues.

Càrrega accelerada: Per realitzar aquest tipus de càrrega és necessari disposar d'un equip especial que pugui determinar variacions de temperatura, variacions de tensió i pugui contar el temps durant el qual s'està efectuant la càrrega. Amb aquest tipus s'acostumen a realitzar càrregues amb uns índexs superiors a $1C$. La majoria d'aquestes càrregues accelerades aconseguen un 70% de la capacitat de les bateries en pocs minuts, a partir d'aquest valor la bateria perd capacitat d'acceptació augmentant la seva temperatura i pressió. Aquest és un dels mètodes més emprats per les bateries de NiMH, però és molt important que el carregador pugui monitoritzar diferents paràmetres i actuar en conseqüència.

Càrrega de goteig o càrrega contínua: L'índex de càrrega utilitzat en aquest sistema depèn de la capacitat de la bateria. Aquest mètode es fa servir generalment com a alternativa per mantenir una bateria per temps indefinit al carregador. Generalment, s'utilitza un índex suficientment petit (de 0,033C mA a 0,05C mA) per mantenir les càrregues de les bateries i evitar la sobrecàrrega.

6.2.3. Finalització de la càrrega

Per a la plataforma és desitjable que la càrrega de les bateries es realitzi en el mínim temps possible. És necessari, per tant, la realització d'una càrrega accelerada.

Tots els processos de càrrega tenen l'inconvenient que si l'estat de les bateries no és controlat poden arribar a sobrecarregar-se, escurçant-se de forma considerable el temps de vida útil de les bateries.

Existeixen tres mètodes per finalitzar les càrregues de les bateries:

1. La utilització d'un temporitzador per limitar el temps de càrrega. Té com a inconvenient principal que si les bateries no estan prèviament descarregades (o ho estan a un nivell intermig) la sobre càrrega està pràcticament assegurada. Aquest mètode s'utilitza de forma complementària a qualsevol dels altres mètodes com a mesura de seguretat.
2. A mesura que les bateries es van carregant i arriben a un 100% de la seva capacitat comencen a produir-se a l'interior de les cel·les reaccions químiques que absorbeixen el corrent innecessari. En les bateries de NiMH aquestes reaccions consisteixen en la recombinació de l'oxigen. Aquest augment accelerat de la temperatura pot ser utilitzat per finalitzar la càrrega

3. Un altre efecte de la generació/recombinació de l'oxigen es "pressionar" el voltatge de la bateria de forma lleu. Per tan la dV/dt (o el que és el mateix, el pendent del voltatge en el procés de la càrrega de les bateries) es converteix en 0 i pren valors negatius un cop la càrrega s'ha efectuat (veure Figura 6-9).

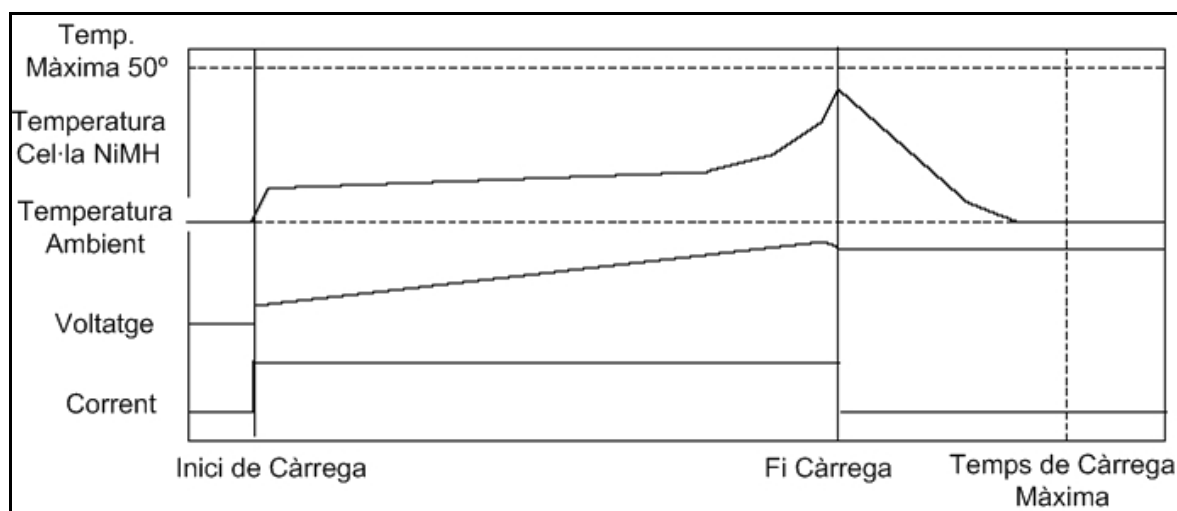


Figura 6-9. Procés Càrrega de les Bateries de NiMH.

Com s'observa en la línia, l'increment de la temperatura (al voltant $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$) arriba al seu valor màxim i la dV/dt es fa 0 i comença a decreixer quan la càrrega s'ha completat. Per tant, poden ser utilitzats ambdós mètodes per determinar la finalització de la càrrega. Alternativament, també es pot limitar la càrrega utilitzant un temporitzador o detectant la temperatura màxima de les cel·les que per les de NiMH és de 50°C .

6.2.4. Placa carregadora de bateries

Per a la construcció d'un carregador de bateries per al microrobot s'utilitza el circuit integrat MAX712 de la casa Maxim¹. Un dels motius de l'elecció d'aquest xip és la relativa facilitat amb la que es podria integrar la circuiteria en la solució prèviament adoptada en la regulació de l'etapa de potència del microrobot (veure apartat 5.6.2). A més a més, té l'avantatge de subministrar la potència necessària al microrobot (o la càrrega que alimentin les bateries) a la vegada que es realitza la càrrega de les mateixes permet mantenir activat el microrobot i els seus subsistemes durant tot el procés de càrrega.

Les característiques del circuit integrat MAX712 són les següents:

- Permet la càrrega de 1 a 16 cel·les
- Admet índex de càrrega variables de 4/C fins a 4C.
- Extreu 5µA de la bateria quan no s'està efectuant cap càrrega.
- Canvi automàtic de càrrega accelerada a càrrega per goteig (C/16).
- Disposa d'un regulador de tensió de 5V per a alimentar lògica externa.
- Regula el corrent mentre efectua la càrrega de les bateries i alimenta la càrrega externa.
- Permet la finalització de la càrrega ràpida mitjançant un temporitzador, detectant l'augment de la temperatura o calculant $\Delta V/dt$.

¹ Existeixen altres circuits integrats que realitzen la mateixa funció, per exemple el TEA 1103 o 1102 de la casa *PHILIPS*.

Per a la construcció de la placa carregadora de bateries s'han utilitzant tècniques semblants a les de l'apartat 5.7. En la següent figura es presenta l'esquema implementat¹:

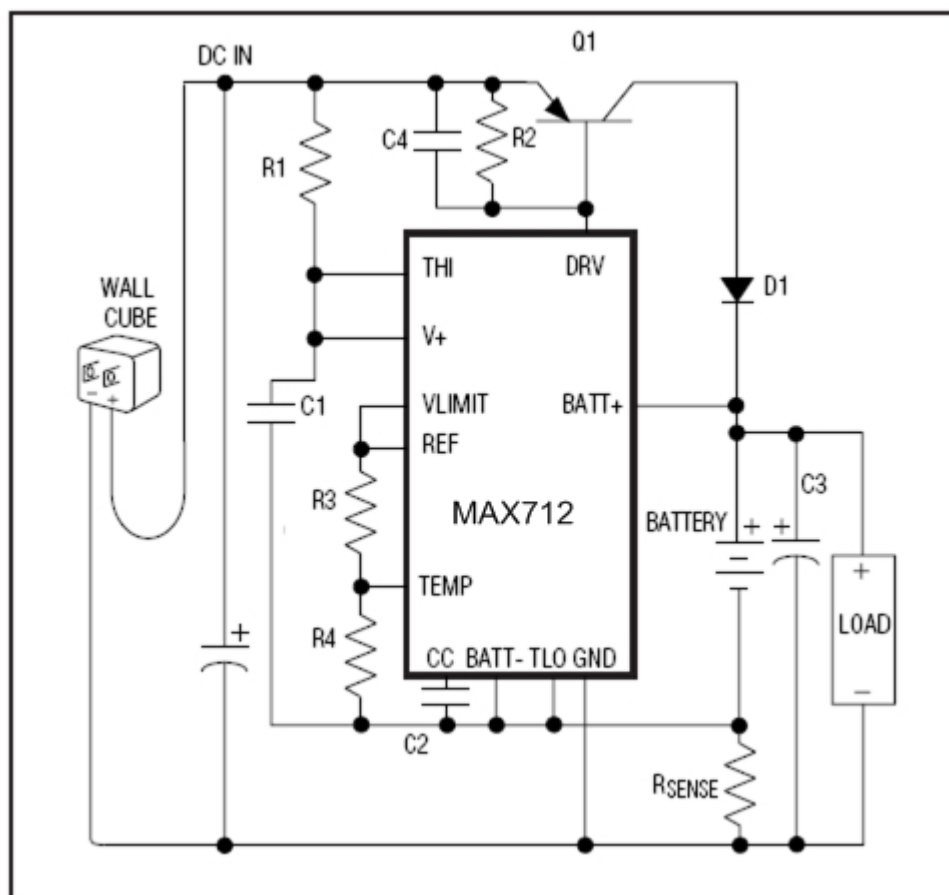


Figura 6-10. Esquema bàsic placa carregadora bateries.

Font: [10]

¹ Per veure els circuits i els esquemes elèctrics, així com els càlculs dels diferents components del circuit veure apartat (A.2.ii) i (C.1) dels annexes.

Els elements principals de l'esquema són els següents:

- La resistència R_{sense} és el component més important del circuit. Aquesta resistència s'encarrega d'establir el corrent que ha de circular en la càrrega ràpida. El voltatge entre el terminal negatiu de la bateria (BATT-) i el terra (GND) està regulat a 250mV. Per tant, la intensitat de càrrega seguirà la següent relació:

$$I_{càrrega_ràpida} = \frac{0,25}{R_{sense}} \quad [A] \quad (\text{Eq.6-2})$$

Si volem efectuar la càrrega en 30 minuts, necessitem una intensitat de càrrega de 3200mA (que és un índex de càrrega de 2C, tenint en compte que les bateries actuals del microrobot són de 1600mAh). Per tant, seguint la relació de la equació 14 obtenim una resistència de R_{sense} de 0,078Ω.

- Pin DRV: Aquest és l'encarregat d'activar o desactivar el transistor que regula el corrent de càrrega. Si el voltatge entre BATT- i GND disminueix per sota de 250mV aleshores DRV augmenta el corrent que circula a través del transistor Q1, si al contrari augmenta per sobre de 250 mV, DRV disminueix el corrent que circula a través de Q1.
- Els pins TLO (temperatura Low) i THI (temperatura High) han estat connectats respectivament a BATT- i V+, d'aquesta forma simplifiquem¹ el circuit i eliminem la finalització de la càrrega ràpida mitjançant el criteri de que $\Delta T/dt$ sigui més gran que un cert llindar.

¹ Realitzant unes petites modificacions a l'esquema de la placa seguint els fulls d'informació i les especificacions del MAX712 i utilitzant termistors (resistències que varien el valor en funció de la temperatura) és pot tornar a implementar la finalització de la càrrega ràpida mitjançant la detecció dels increments de la temperatura.

- El voltatge d'alimentació de la placa ha de ser com a mínim d'un valor que segueixi la següent equació:

$$DC_{in} = 1.5 + (n^{\circ} \text{Cel·les} * V_{max}) \quad [V] \quad (\text{Eq.6-3})$$

Els 1,5 volts inicials corresponen a les possibles caigudes de voltatge a través del diode D1 i del transistor Q1, mentre que el segon terme representa el nombre total de cel·les pel voltatge màxim (sobredimensionat) que pot arribar una bateria de NiMH carregada per sobre del 100% de la seva capacitat. Si aquest voltatge d'alimentació no es garanteix (DC IN) podria donar-se el cas que el MAX712 mai finalitzés la càrrega ràpida mitjançant la condició de $\Delta V/dt=0$.

A continuació es mostra una imatge de la placa carregadora de bateries:

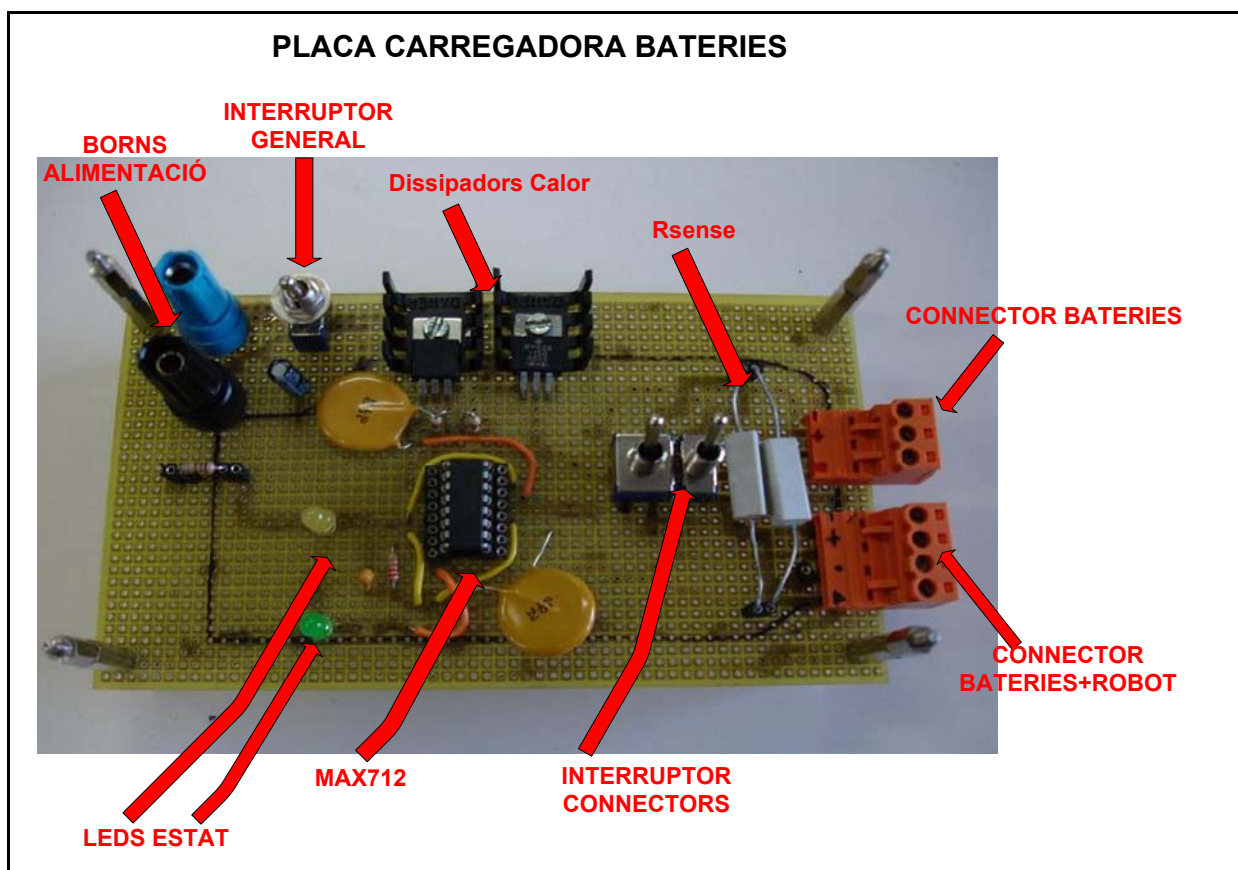


Figura 6-11. Placa carregadora de bateries

Com s'observa a la Figura 6-11 s'ha col·locat un interruptor per tal de configurar el carregador de bateries en mode de carregar a través del microrobot (el MAX712 monitoritza el corrent mitjançant la resistència R_{sense} situada a la placa del microrobot) o en mode de carrega tradicional¹ (en aquest cas el MAX712 monitoritza el corrent de carrega mitjançant les resistències R_{sense} de la placa).

També s'han introduït dos leds per a poder visualitzar en tot moment l'estat de la càrrega. El led groc ens indica si s'està efectuant càrrega (càrrega accelerada o de goteig) i el led verd ens indica que la càrrega ràpida ja ha estat efectuada.

A la vegada s'ha preparat el connector (veure connector "bateries+robot" de la

Figura 6-11) per rebre el senyal del MAX712 (FastCharge) de manera que si es connecta aquest senyal a alguna entrada del micro preparada per rebre interrupcions aquest serà capaç de detectar quan la càrrega ha estat efectuada.

Finalment notar sobre el desenvolupament de la placa carregadora de bateries que degut als alts corrents que es fan circular és necessari la col·locació de dissipadors de calor per tal d'evitar el sobre calentament dels integrats.

¹ S'ha anomenat mode tradicional perquè en aquesta configuració es com si tinguéssim un carregador comercial.

7. Mapa de memòria i programació del robot

7.1. Programació per a la família 80c51 C ANSI

C és un llenguatge concís però en moltes ocasions desconcertant. El llenguatge C es pot considerar un llenguatge “d’alt nivell”, i posseeix moltes característiques importants, com:

Programació estructurada

Mètodes definits per a la crida de funcions i pas de paràmetres

Estructures de control potents.

Però la vertadera potència de C resideix en la “habilitat” per combinar comandes simples de baix nivell amb complicades funcions d’alt nivell, i permetre l’accés als bytes i altres variables del processador.

Molts programadors anomenen C com “el llenguatge ensamblador universal”. La major part dels programadors en C, l’han utilitzat per programar màquines que corren sobre Unix, MS-DOS o Windows. En aquestes màquines el tamany del programa no és important i la comunicació amb el món real es realitza mitjançant funcions o interrupcions DOS. D’aquesta forma el programador en C només ha de preocupar-se de la manipulació de variables, matrius, cadenes de valors...

Amb el 80c552 (o qualsevol micro basat en el 80c51 de 8 bits), la situació és una mica diferent:

La memòria de programa ha de ser inferior als 64K (si no s’utilitza la memòria externa menor de 8k), i s’ha d’utilitzar menys de 256 bytes de RAM (en cas que s’utilitzi la memòria externa RAM pot augmentar als 64k).

Un dels fonaments de C és que els paràmetres (variables) es passen a les funcions (subrutines) a la pila i els resultats obtinguts també es retornen a la pila, però el principal problema de la família 80c51 és que la pila disponible és d’un tamany molt reduït. De manera que el 80C552 no podrà realitzar crides a moltes funcions ni passar molts paràmetres.

A més a més és necessari la crida i manipulació, en alguns casos, de registres especials a baix nivell (modificacions del valor d’algun bit) i per tant no s’utilitza el llenguatge C pròpiament dit sinó que emprava una variant pròpia de la família 80c51 el C51.

Les altres característiques del llenguatge de programació C51 són:

- Llenguatge de programació basat en C (accepta la gran part de funcions i llibreries existents).
- Servei d'interrupcions (veure apartat 7.3)
- Suporta diferents configuracions de memòria ROM/RAM.
- Control de commutació de registres.
- Alt nivell d'optimització per conservar l'espai de codi.
- Suportat per la família del 80c51 i per altres derivats (87C751)

7.2. Organització memòria del microrobot.

A diferència de molts micros la família del 80c51 posseeix una memòria de programa i de dades separada, aquest fet implica que les instruccions de codi i programa s'emmagatzemin en una memòria no volàtil, mentre que les dades (per exemple les variables) es troben en una memòria volàtil. A més a més aquestes memòries poden ser internes i estar integrades en el micro o al contrari, ser externes.

A continuació es presenta el mapa de memòria (Figura 7-1) de la placa d'expansió i del microrobot un cop s'han efectuat les modificacions en la PAL per al "mappejat dels ports" i s'ha "programat" la EPROM amb el programa carregador o bootloader:

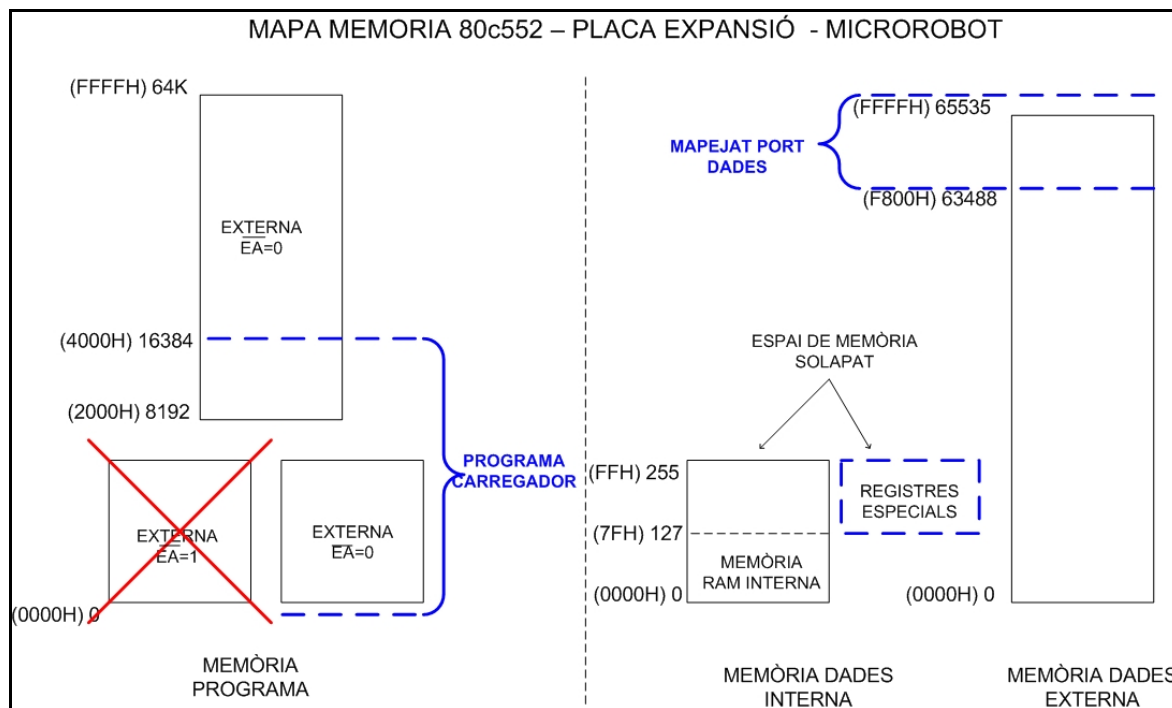


Figura 7-1. Mapa memòria del Microrobot

Font: [11]

Com s'observa al mapa de memòria de la Figura 7-1, les primeres posicions de la memòria de programa (0000H-4000H) estan "ocupades" pel programa carregador situat a la EPROM. Quan el microrobot s'engega aquest programa comprova si hi ha comunicació amb el programa que corre sobre el PC, si existeix espera la gravació del nou programa mitjançant el port sèrie de la placa d'expansió. Si aquesta comunicació no existeix passa a executar el programa que es troba prèviament gravat a la memòria flash.

De la segona part del mapa, el mapa de la memòria de dades, destacar dos punts:

1. Quan el micro realitza alguna crida a una adreça compresa entre la posició F800H i la FFFF la PAL que ha estat prèviament codificada desactiva la memòria Flash i realitza una acció prèviament codificada¹
2. Existeix una part interna de la memòria de dades que es solapa (de la posició inicial 7FH a la posició FFH). Aquest fet es degut a que tenen dues formes diferents d'accés.

Aquests registres especials (en la Figura 7-1, entre les posicions de memòria 7FH i FFH) permeten configurar el microcontrolador, així com una sèrie de perifèrics. L'accés a aquests registres especials només es pot fer de forma indirecta, mentre que per a les mateixes adreces de la memòria ram interna s'accedeix de forma indirecta.

¹ Actualment només té codificades dues adreces, amb una llegim les dades dels bumpers, amb l'altra esborrem el valor dels registres que les emmagatzemen. Realitzant una nova programació de la PAL i afegint una nova circuiteria electrònica o modificant convenientment la actual es podrien mapejar més adreces de la memòria de dades.

7.3. Interrupcions

El microcontrolador 80c552 disposa de fins a 15 interrupcions¹ (6 externes i 9 internes). Aquestes es poden habilitar-deshabilitar de forma individual i de forma global, així com es pot definir la seva prioritat (en dos nivells, 0 nivell baix i 1 nivell alt).

Quan es presenta alguna interrupció el micro salta a una direcció de memòria determinada i executa el codi de programa situat en aquella direcció. Un cop la interrupció ha estat executada recupera l'estat en el que es trobava i continua l'execució prèvia a la interrupció.

Una interrupció serà servida sempre i quan no hi hagi una altra de major o igual prioritat executant-se. En aquest cas la interrupció esperarà a la que prèviament s'estigui executant completi la seva tasca.

Si pel contrari, s'està executant una interrupció de baixa prioritat i es crida una d'alta prioritat, la primera pausarà el seu estat i es completarà un cop s'hagi executat la de més alta prioritat (aquest fet hauria de ser evitat degut al espai limitat del qual disposa la pila).

Els perifèrics del microrobot que executen alguna interrupció són:

- Encoders. (cada cop que hi ha un pols en qualsevol encoder, aquest ha de ser comptabilitzat).
- Mòdul de Ràdio. (per temporitzar i generar el baud rate per enviar les dades de forma periòdica).
- Conversor analògic digital (aquesta interrupció indica la finalització d'una conversió).
- Bumpers (indica l'activació d'un o més bumpers).

¹ Las interrupcions donen resposta a les necessitats que tenen dispositius i perifèrics d'enviar informació al sistema de computació. La tècnica que s'utilitzava prèviament era la de preguntar a cada dispositiu (mètode d'enquesta) si tenia nova informació que proporcionar. Aquest mètode és poc eficient ja que implica un temps innecessari. El mecanisme d'interrupció permet al micro desentendre's d'aquesta problemàtica i comunicar-se amb els perifèrics quan realment aquests ho necessiten.

La prioritat de cadascuna d'aquestes interrupcions es pot configurar durant el transcurs de l'execució del programa. A més a més també es pot deshabilitar/habilitar cadascuna de les interrupcions de forma individual o global.

L'esquema següent mostra les interrupcions utilitzades en el microrobot:

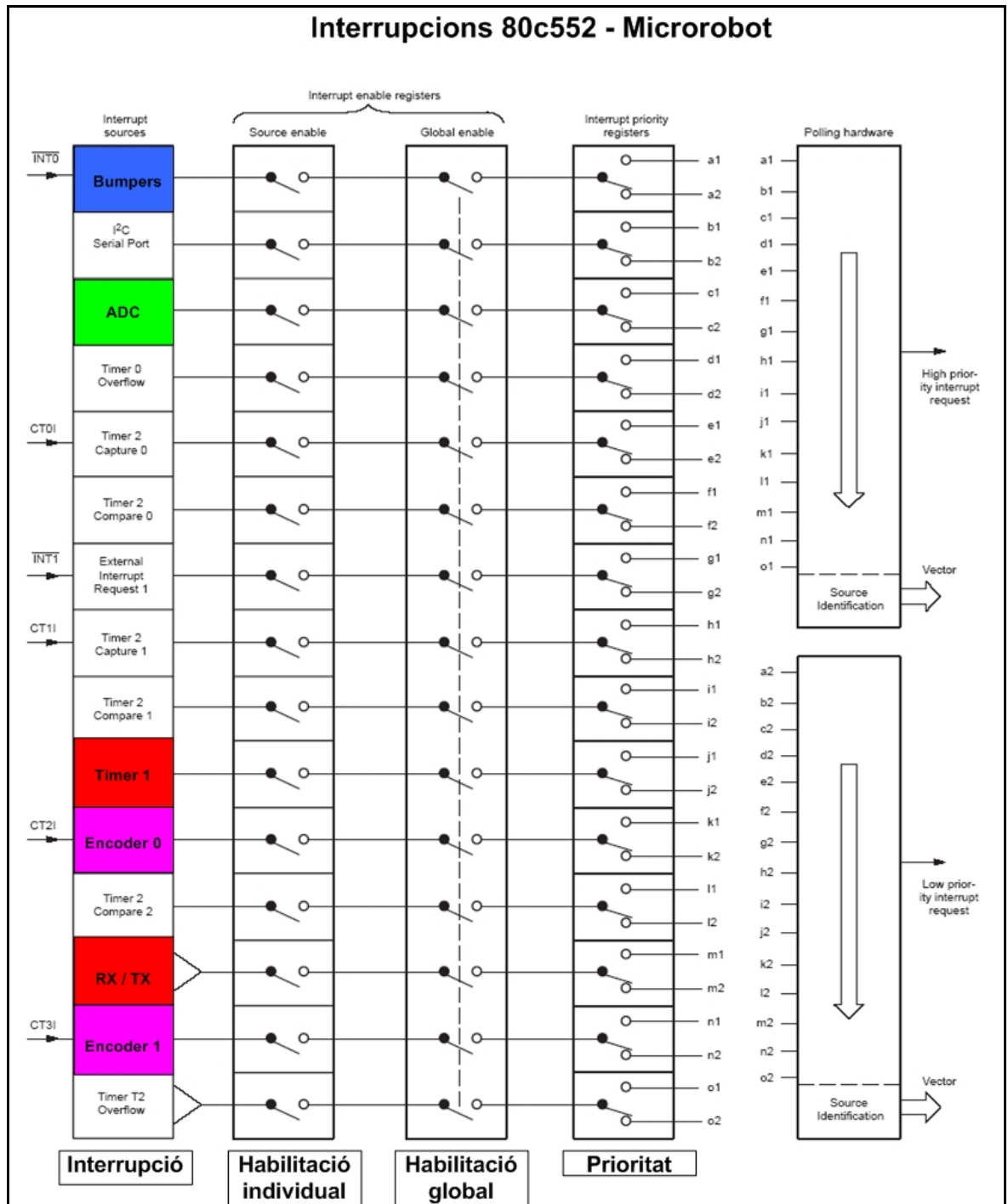


Figura 7-2. Mapa interrupcions 80c552 – Microrobot

Font:[11]

8. Prestacions Finals Microrobot i Plataforma

Les prestacions ofertes pel microrobot i per la plataforma són les següents:

- **Sensors de contacte:** El seu funcionament és òptim, encara que proporcionen rebots¹ (com la majoria d'aquests tipus de microinterruptors) el seu efecte es pot solucionar per software o mitjançant alguna petita modificació de la placa sensorial per hardware.
- **Sensors d'infrarojos:** Encara que la tècnica utilitzada és bastant robusta, la fiabilitat i precisió d'aquests sensors no ho són tant. Per a distàncies inferiors a 40 cm pot haver una variabilitat en la mesura de fins a un 10% (per exemple un objecte situat a una distància real de 25 cm el microrobot podria estimar que es troba a entre els 20 i els 30 cm). Per a distàncies majors de 40 cm fins a 80 cm la variabilitat augmenta fins al 20%. Encara que sota algunes condicions (en funció del color dels obstacles i la lluminositat es poden arribar a mesurar distàncies de fins a 1,2 m. No es recomana l'ús d'aquest sensor a més de 80 cm.
- **Autonomia:** Amb les bateries actuals de 1600mAh de capacitat (6 cel·les) l'autonomia aproximada és de unes dues hores. Les bateries quan estan descarregades tenen un voltatge per cel·la d'uns 1,1V i quan estan carregades al voltant dels 1,4 V.

La càrrega s'efectua en 30 minuts mitjançant la placa carregadora de bateries en el propi microrobot o en la mateixa placa.

- **Mòdul de Ràdio:** L'abast del mòdul de ràdio (comunicació half-duplex) en interiors és, com a mínim, de 50 metres (en exteriors no ha estat provat). Des dels despatxos i laboratoris de l'ESAI fins al passadís de l'IRI (desconeixem la distància real però aproximadament estimem uns 100 m) es va establir una comunicació satisfactòria

¹ Un rebot és l'efecte que es produeix en passar el microinterruptor d'un estat a un altre. En el període de transició d'un estat a un altre es produeixen oscil·lacions en el valor del seu estat (fent pensar al microcontrolador que hi ha hagut diferents canvis d'estat).

(entenem per satisfactòria que el robot realitzava les ordres que li eren enviades mitjançant el joystick de la plataforma).

El percentatge de trames rebudes correctament en les condicions següents és del 95% com a mínim:

- Trames no balancejades.
 - Configuració de les trames: 5 bits d'inici, 5 bits de sincronisme i una cadena de dades d'uns 20 bytes.
 - Transmissió de dades a 9600 i 19200 bps.
- **Encoders:** Encara que disposem d'una precisió de 64 tics (ens dóna una resolució segons l'apartat 5.3.2, de 1,60 mm lineals d'avanç per pols d'encoder), les probes experimentals realitzades mitjançant el control manual de microrobot mostren diferències entre la posició real del robot i la posició que es mostra en pantalla. Aquest fet es degut a diferents factors:

Tant els encoders com la majoria de peces mecàniques del microrobot s'han construït a mà. Aquest fet implica que la mecànica no sigui perfecte i per tant és impossible alinear les dues rodes motrius. Aquesta i altres imperfeccions mecàniques distorsionen els resultats.

Un dels encoders, per exemple, no detecta 64 polsos sinó que només en detecta 62. Aquest problema, però, ja és resolt mitjançant software ja que per a realitzar els càlculs de la posició del microrobot podem reduir la precisió del encoder.

Un altre problema és que en molts casos sobretot en superfícies molt llises el robot tendeix a lliscar (encara que les velocitats no són molt elevades entre 0,1 i 0,15 m/s). Aquest fet també introdueix alguns errors en els càlculs.

Creiem que amb una millora de la mecànica i un possible control dels motors en l'arrencada, els resultats millorarien de forma notable.

9. Estudi Econòmic

Un dels objectius inicials del projecte era desenvolupar el microrobot i la plataforma intentant que el cost total del projecte fos el menys elevat possible.

En la següent taula presentem el resum¹ del cost del material, components i elements utilitzats en el desenvolupament i construcció del microrobot¹ i de la plataforma:

	Cost Total €	% Total
MICROROBOT		
Placa Desenvolupament Sistemes Microcontrolats	57,28	13%
Mecànica - Estructura - Altres	48,86	11%
Motors	48,00	11%
Bateries	22,50	5%
Estructura-Motors-Bateries	119,36	28%
Actuadors	4,03	1%
Port Expansió	8,44	2%
Infrarojos	33,56	8%
Bumpers	15,12	3%
Encoder	17,91	4%
Etapa Potència	32,15	7%
Mòdul Ràdio	48,77	11%
Placa Sensorial	159,98	37%
Total Microrobot	336,62	78%
PLATAFORMA		
Placa Carregadora Bateries	35,00	8%
Placa Mòdul Radio PC	62,34	14%
Total Plataforma	97,34	22%
TOTAL PLATAFORMA + MICROROBOT	433,96	

Taula 9-1. Resum cost econòmic Microrobot + Plataforma.

¹ En l'apartat B dels annexes és mostren els llistats complets de material i components ordenats per subsistemes.

Tenint en compte que la finalitat del projecte és didàctica i no lucrativa i que no es preveu la producció en massa de microrobots, podríem dir que el binomi qualitat - prestacions és bastant òptim.

Hi ha però tres comentaris a realitzar:

- No s'ha tingut en compte els preus de fabricació de realitzar les plaques en circuit imprès en el cas que es volguessin desenvolupar en comptes de les realitzades mitjançant les tècniques de "wire-wrap" de l'apartat 5.7.
- No s'ha tingut en compte els preus de la ma d'obra ni d'utilització de la maquinària adequada per a realitzar les peces mecàniques de l'encoder i de les rodes tal i com ja s'ha comentat anteriorment. Actualment el departament d'ESAI al Campus Sud disposa d'una fresadora i d'una taladradora automàtica, per tant creiem que els costos no serien molt més elevats (només costos materials que ja estan inclosos).
- No s'ha inclòs els preus de les llicències dels programes informàtics emprats (windows, orcad, compilador de C). El cost d'aquests programes per part de la universitat ha estat ja amortitzat.

¹ Els costos estan basats en un microrobot i una plataforma.

Conclusions

En el transcurs d'aquesta memòria s'han presentat algunes solucions i idees per al desenvolupament d'un microrobot. Com s'haurà pogut comprovar aquestes solucions no són úniques, algunes poden ser millorades per software o per hardware.

Sobretot pensem que el control de la posició del microrobot, després de realitzar les proves experimentals, no es pot deixar només en mans de l'odometria, ja que la mecànica i el sistema de locomoció del microrobot poden portar a errors continus per molt perfectes que siguin. Seria desitjable intentar millorar aquest aspecte que és un dels problemes crucials de la robòtica mòbil, el càlcul de la veritable posició del microrobot. És recomanable per tant intentar seguir millorant el microrobot i la plataforma en aquest aspecte. Un sistema de visió per a la plataforma podria ser un bon inici descartant un sistema de visió amb càmeres sobre el microrobot degut a les limitacions del micro i del mòdul de comunicació existents.

Un dels condicionants més importants que ens hem trobat i que no és únic d'aquest projecte és la dependència dels terminis de lliurament de materials que en molts casos pot arribar a retardar el seu avanç. També la interdependència de moltes disciplines, la mecànica, l'electrònica, la informàtica i l'automàtica pot requerir temps el seu "engranatge" i per tant també pot produir un retard.

Resulta obvi que la limitació econòmica és un condicionant molt important, a més disponibilitat de recursos, millors materials i elements de qualitat (per exemple un sensor d'infrarojos de major fiabilitat o un transreceptor full-duplex o un encoder industrial), però amb els elements disponibles i les prestacions ofertes actualment tant pel microrobot com per la plataforma es poden iniciar nous projectes i estudis.

Presentem algunes idees i línies de treball per a futurs projectes que continuïn el treball realitzat en el projecte descrit en aquesta memòria:

- Desenvolupar un protocol més complet i fiable en el sistema de comunicació.
- Realització del model cinemàtic del microrobot.
- Modificar i millorar la part mecànica i electrònica (tant de la plataforma com la del microrobot) i a la vegada introduir noves prestacions en funció de les tasques a realitzar.
- Iniciar una "comunitat" de robots, per a poder interactuar entre ells.
- Introduir a la plataforma el control del microrobot mitjançant tècniques de visió per computador (personalment crec que aquest seria un projecte molt engrescador).

Finalment m'agradaria fer unes consideracions a nivell personal sobre el projecte i que crec poden ser d'utilitat a algun altre estudiant o investigador que continuï desenvolupant el microrobot o decideix engegar-ne un de semblant.

Resulta obvi que en el transcurs del Projecte s'han assimilat i posat en pràctica molts dels coneixements teòrics que s'han anat adquirint al llarg de la carrera (o que ha calgut anar adquirint a mesura que el projecte ha anat avançant).

A nivell personal hi ha dues habilitats que no es poden aprendre ni a les classes, ni amb la lectura de llibres o manuals però que crec que amb el desenvolupament del projecte s'han anat adquirint i que són, sota el meu punt de vista, indispensables per a la construcció d'un microrobot d'aquestes característiques: paciència i ganes d'aprendre.

Com a últim apunt, espero que si algun projectista o investigador continua treballant amb el robot el tracti bé perquè al final s'acaba convertint amb el teu fill (amb tots els defectes i virtuts dels fills).

Agraïments

En primer lloc donar les gràcies al departament d'ESAII per donar-me l'oportunitat d'haver participat en el desenvolupament d'un projecte engrescador, a la vegada que molt didàctic i per haver-me facilitat, en la mesura del possible, els recursos tant materials com personals disponibles.

El meu agraïment especial a l'Antoni Grau i a la Yolanda Bolea per haver-me dirigit i tutelat respectivament aquest Projecte final de carrera. Per la seva paciència, pel seu suport i per l'ajut que m'han donat en tot moment.

També agrair a l'Isaac Usieto per tramitar les comandes de material i facilitar-me les eines i el material dels Laboratoris de Robòtica i al Joan Bidos per deixar-me utilitzar el programador i gravador d'Eproms i Pals del laboratori del Campus Nord.

Agrair la col·laboració desinteressada de l'Oliver Pérez i de la Laura Gómez en la gravació i edició dels vídeos de demostració.

Finalment destacar el meu agraïment al Carlos Pérez i al Pedro López l'ajuda rebuda en el transcurs i desenvolupament del projecte. Penso que la seva col·laboració ha estat molt important i didàctica ja que d'una forma altruista han dedicat bastants hores a transmetre'm els seus coneixements. El primer per les seves classes "magistrals" de Visual C++ i per les tardes que va estar ajudant-me depurant el errors de comunicació del mòdul de ràdio. El segon pels seus consells inicials sobre microrobots i per les seves classes no menys "magistrals" en el desenvolupament i construcció de plaques mitjançant la tècnica "Wire Wrap".

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] PHILIPS, 80C552/80C553 Single-chip 8-bit microcontroller with 10-bit A/D, capture/compare timer, high-speed outputs, PWM, Agost 2000, p. 2-20.
- [2] TORRENS Carles, *Building a Mobile Robot as an Excellent Graduating Exercise*, UPC ESAII. p. 1-10.
- [3] TEXAS INSTRUMENTS, Quadruple Half-H Drivers L293-L293D, Dallas 2000, p.2-9.
- [4] Mc COMB, Gordon, *The Robot Builder's Bonanza 99 Inexpensive Robotics Projects*, Mc GRAW-HILL.1987, p.94-110.
- [5] SHARP, GP2D12/GP2D15,"datasheet", p. 1-4.
- [6] WOLBERT, Bob, *Designing With Low-Dropout Voltage Regulators*, Micrel Semiconductor, Revised Edition 1998, p9-18. p140-154.
- [7] NATIONAL SEMICONDUCTOR, LM8XX Series Voltage Regulator, Febrer 1995, p. 3.
- [8] DOWLING, Kevin, *Power Sources for Small Robots "CMU-RI-TR-07-02"*, Gener 1997, p.15.
- [9] [<http://radiometrix.com/>], DESEMBRE 04 – JUNY 05]
- [10] MAXIM, NiCd/NiMH Battery Fast-Charge Controllers, Abril 2002, p.1-15.
- [11] PHILIPS, 80C51 Family derivatives, 8XC552/562 Overview, Agost 1996, p.2-55.
- [12] [<http://keil.com/>], SETEMBRE 04 – JUNY 05]

Annexes

Sumari Annexes

A. ESQUEMES ELÈCTRICS/ELECTRÒNICS	4
A.1. Esquemes Microrobot	4
A.1.i. Etapa Potència	4
A.1.ii. Control Motors	5
A.1.iii. Encoders	6
A.1.iv. Bumpers	7
A.1.v. Sensors Infrarojos	8
A.1.vi. Mòdul Ràdio Microrobot	9
A.1.vii. Placa desenvolupament de sistemes	10
A.2. Esquemes Plataforma	11
A.2.i. Mòdul Ràdio Placa PC	11
A.2.ii. Placa Carregadora Bateries	12
B. LLISTAT COMPONENTS	13
B.1. Microrobot	13
B.2. Plataforma	18
C. PLACA CARREGADORA BATERIES	20
C.1. Configuració i Disseny de la Placa	20
C.2. Manual Usuari	25
C.2.i. Altres Configuracions:	28
D. CONFIGURACIÓ/PROGRAMACIÓ PAL	29
D.1. Configuració PAL	31
D.2. Programació de la PAL	33
E. DESCRIPCIÓ PLACA SENSORIAL	38

Índex Figures:

FIGURA A-1. ESQUEMA ETAPA POTÈNCIA MICROROBOT.	4
FIGURA A-2. ESQUEMA CONTROL MOTORS.	5
FIGURA A-3. ESQUEMA ENCODERS.	6
FIGURA A-4. ESQUEMA BUMPERS.	7
FIGURA A-5. ESQUEMA SENSORS INFRAROJOS.	8
FIGURA A-6. ESQUEMA MÒDUL RÀDIO MICROROBOT.	9
FIGURA A-7. ESQUEMA PLACA DESENVOLUPAMENT DE SISTEMES.	10
FIGURA A-8. ESQUEMA MÒDUL RADIO – PLACA PC.	11
FIGURA A-9. ESQUEMA PLACA CARREGADORA BATERIES.	12
FIGURA C-1. ESQUEMA PLACA CARREGADORA DE BATERIES.	21
FIGURA C-2. PLACA CARREGADORA BATERIES. VISTA INFERIOR.	27
FIGURA D-1. PALCE16V8.	29
FIGURA D-2. ESQUEMA PALCE16V8.	29
FIGURA E-1. PLACA SENSORIAL.	38

Índex Taules:

TAULA B-1. COMPONENTS MICROROBOT (ESTRUCTURA , MECÀNICA, ALTRES).....	13
TAULA B-2. COMPONENTS MICROROBOT (ACTUADORS).	14
TAULA B-3. COMPONENTS MICROROBOT (BATERIES).	14
TAULA B-4. COMPONENTS MICROROBOT (PLACA SENSORIAL-ACTUADORS).....	14
TAULA B-5. COMPONENTS MICROROBOT (PORT EXPANSIÓ).....	14
TAULA B-6. COMPONENTS MICROROBOT (SENSORS INFRAROJOS).	15
TAULA B-7. COMPONENTS MICROROBOT (BUMPERS).....	15
TAULA B-8. COMPONENTS MICROROBOT (ENCODERS).	15
TAULA B-9. COMPONENTS MICROROBOT (ETAPA POTÈNCIA).	16
TAULA B-10. COMPONENTS MICROROBOT (MÒDUL RÀDIO).	16
TAULA B-11. COMPONENTS PLACA DESENVOLUPAMENT SISTEMES MICROCONTROLATS.....	17
TAULA B-12. COMPONENTS PLATAFORMA (PLACA CARREGADORA BATERIES).	18
TAULA B-13. COMPONENTS PLATAFORMA (MÒDUL DE RÀDIO).	19
TAULA C-1. MÈTODES DE TERMINACIÓ EN FUNCIÓ ÍNDEX CÀRREGA.	22
TAULA C-2. CONFIGURACIÓ DE PGM0 I PGM1 EN FUNCIÓ DEL NOMBRE DE CEL·LES A CARREGAR.	26
TAULA C-3. CONFIGURACIÓ DE PGM2 I PGM3	26
TAULA D-1. PROGRAMA “BASIC” DE LA PAL.	33
TAULA D-2. PROGRAMA “CARREGADOR” DE LA PAL.	35
TAULA D-3 PROGRAMA “BUMPERS” DE LA PAL.....	37

A. Esquemes Elèctrics\Electrònics

A.1. Esquemes Microrobot

A.1.i. Etapa Potència

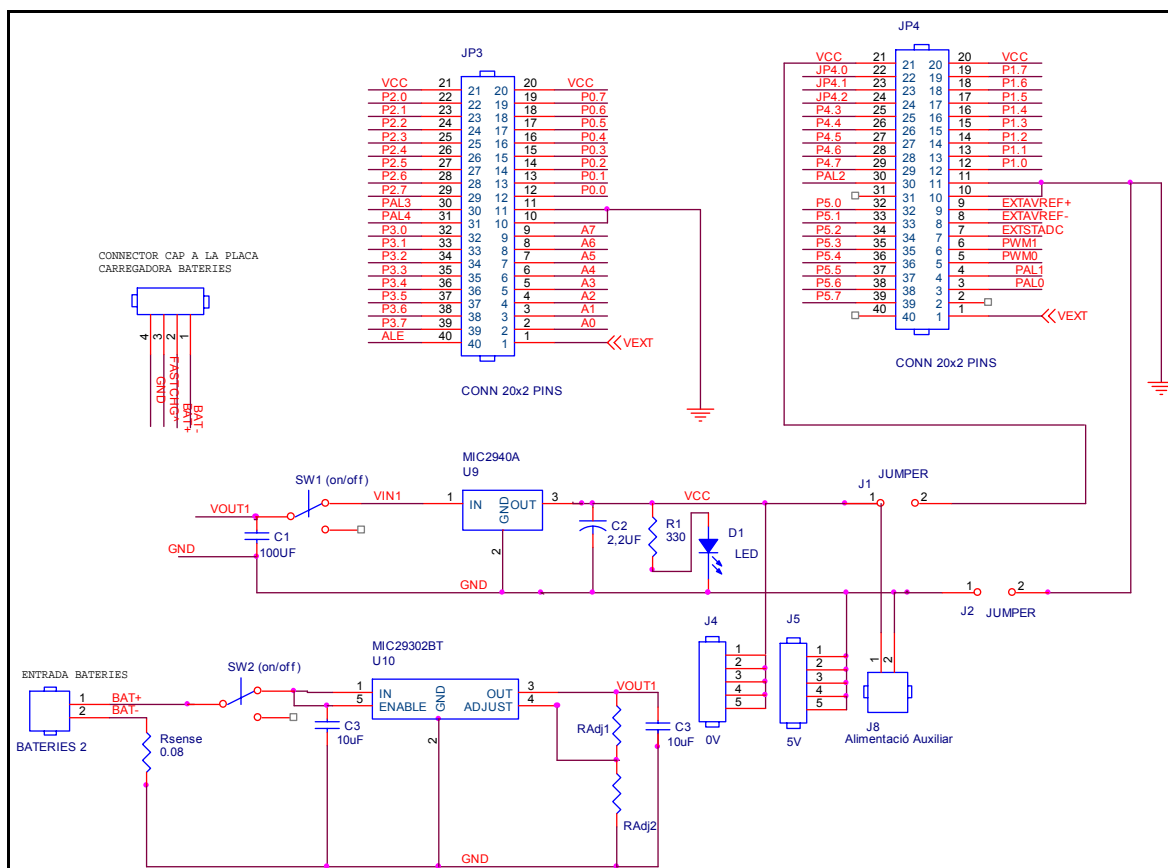


Figura A-1. Esquema Etapa Potència Microrobot.

A.1.ii. Control Motors

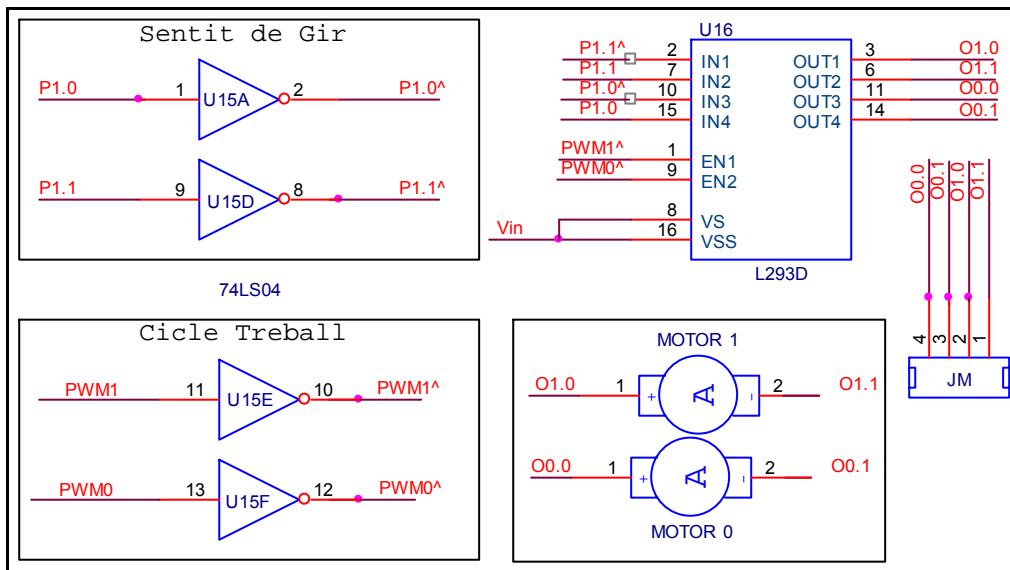


Figura A-2. Esquema Control Motors.

A.1.iii. Encoders

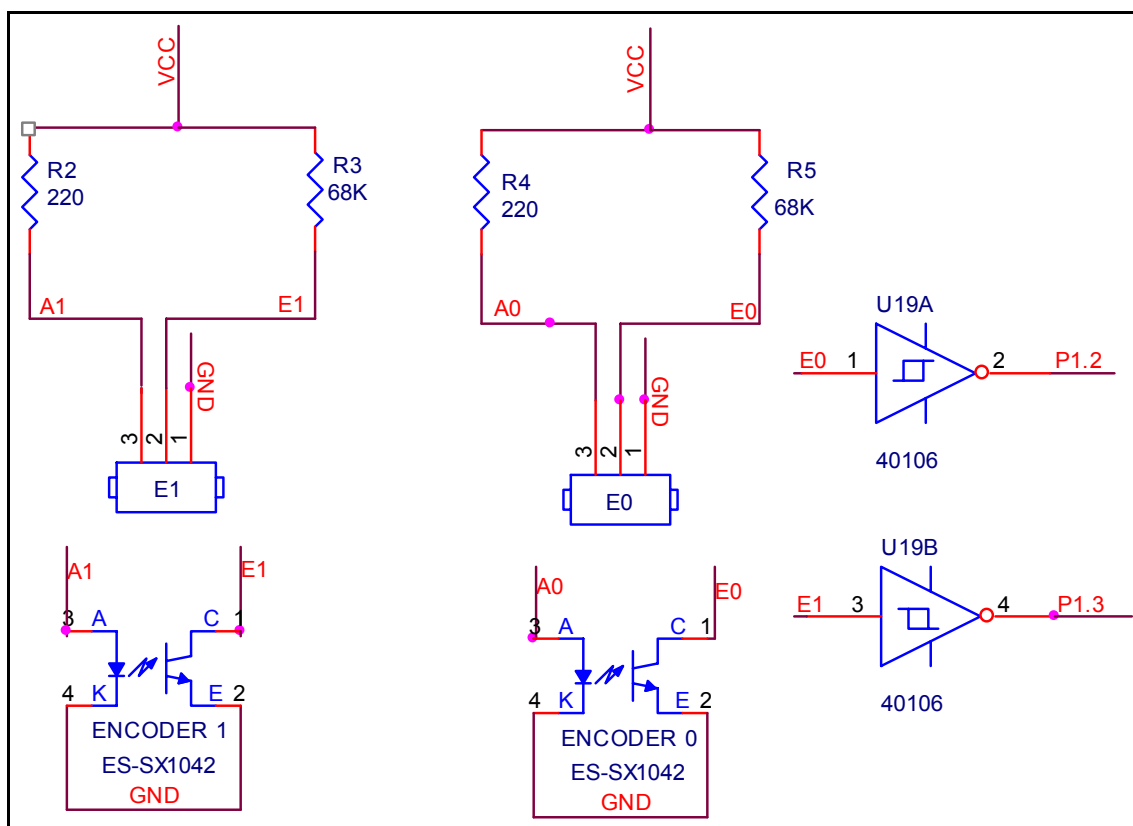


Figura A-3. Esquema Encoders.

A.1.iv. Bumpers

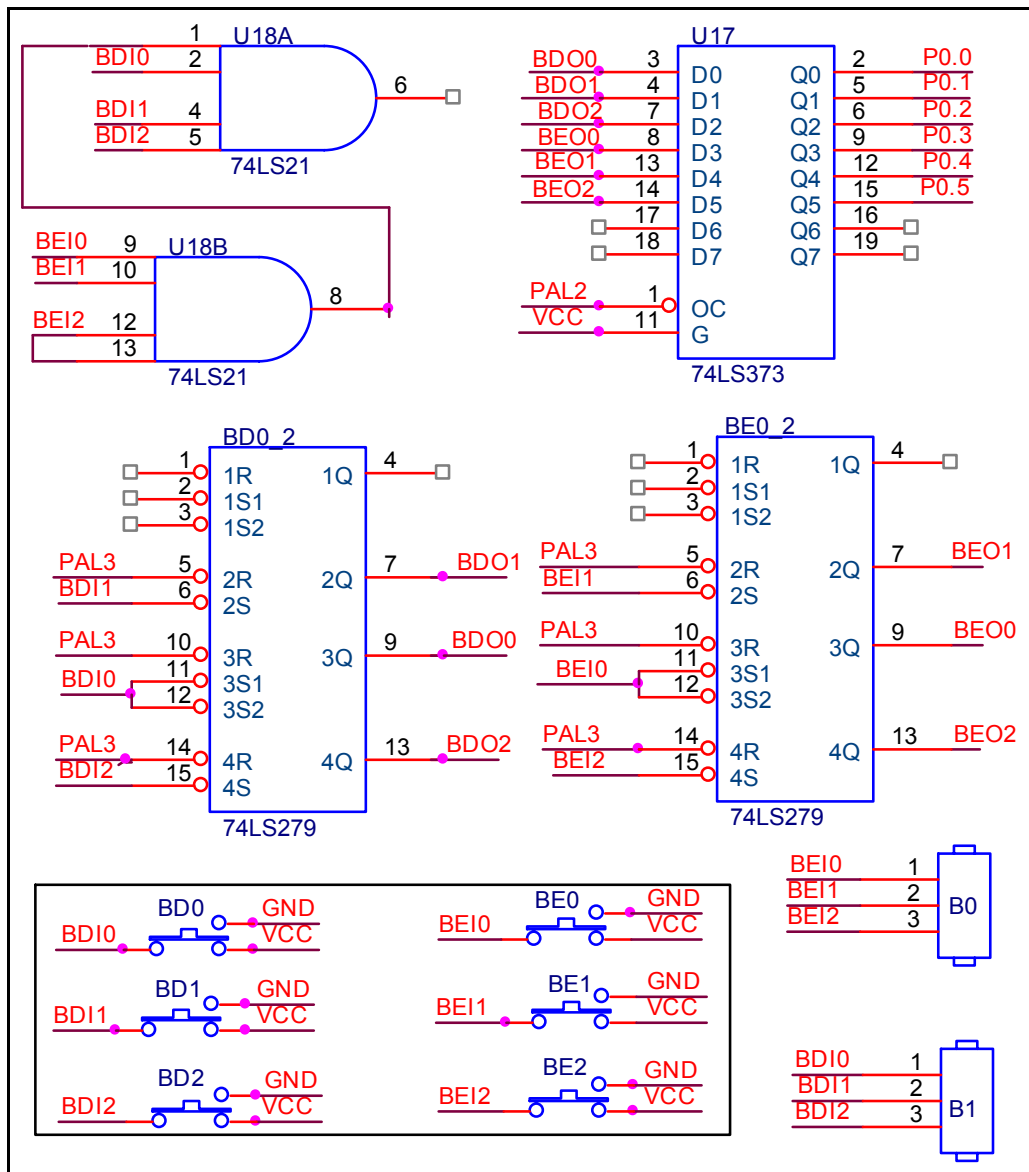


Figura A-4. Esquema Bumpers.

A.1.v. Sensors Infrarojos

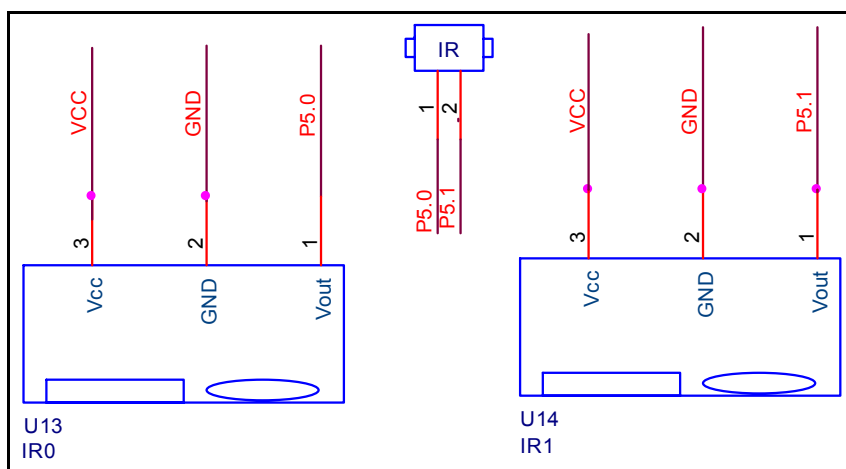


Figura A-5. Esquema Sensors Infrarojos.

A.1.vi. Mòdul Ràdio Microrobot

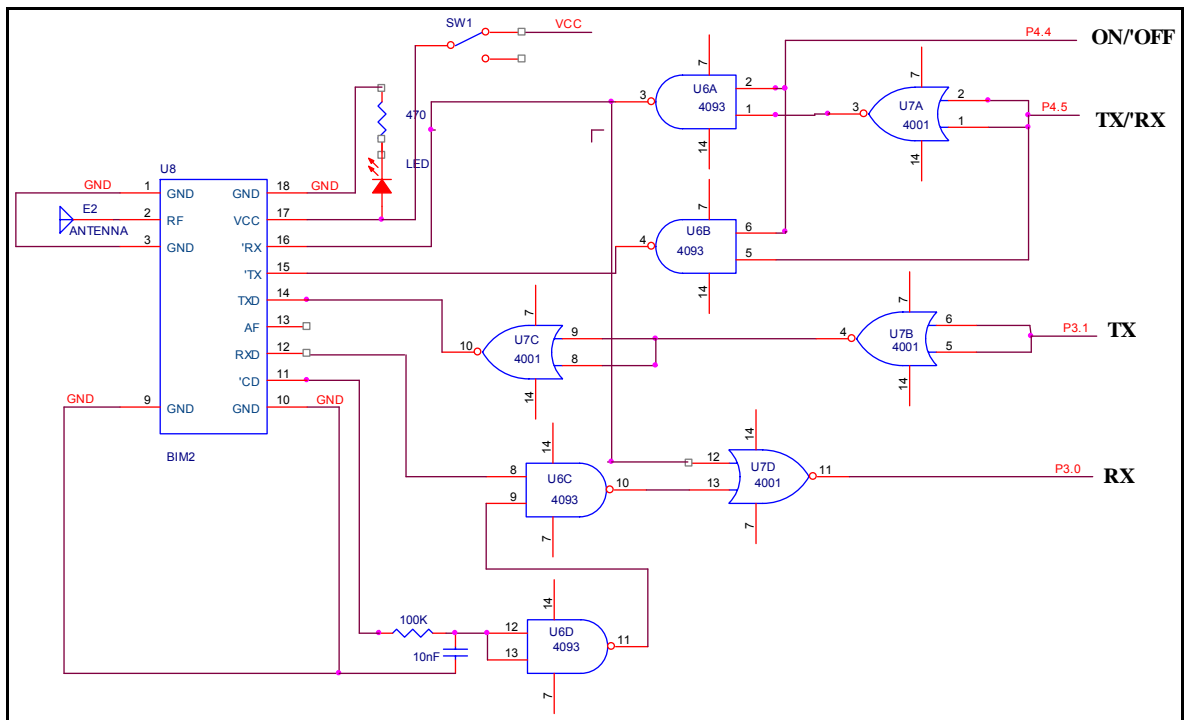


Figura A-6. Esquema Mòdul Ràdio Microrobot.

A.1.vii. Placa desenvolupament de sistemes

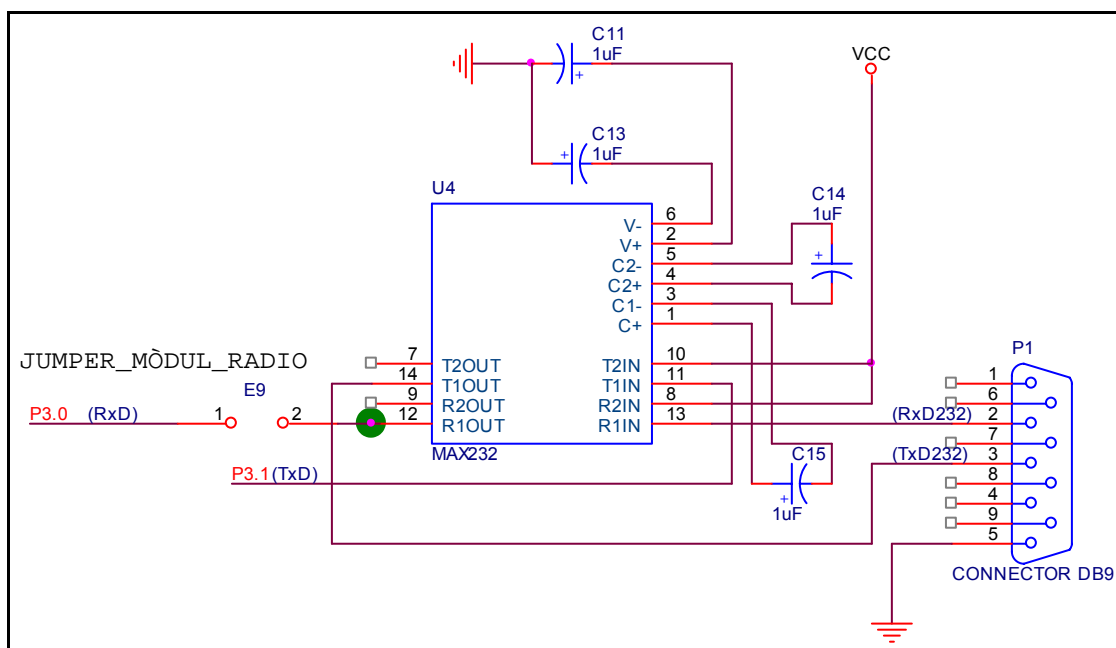


Figura A-7. Esquema¹ placa desenvolupament de sistemes

¹ Només s'inclou la modificació realitzada per introduir el jumper del mòdul de ràdio.

A.2. Esquemes Plataforma

A.2.i. Mòdul Ràdio Placa PC

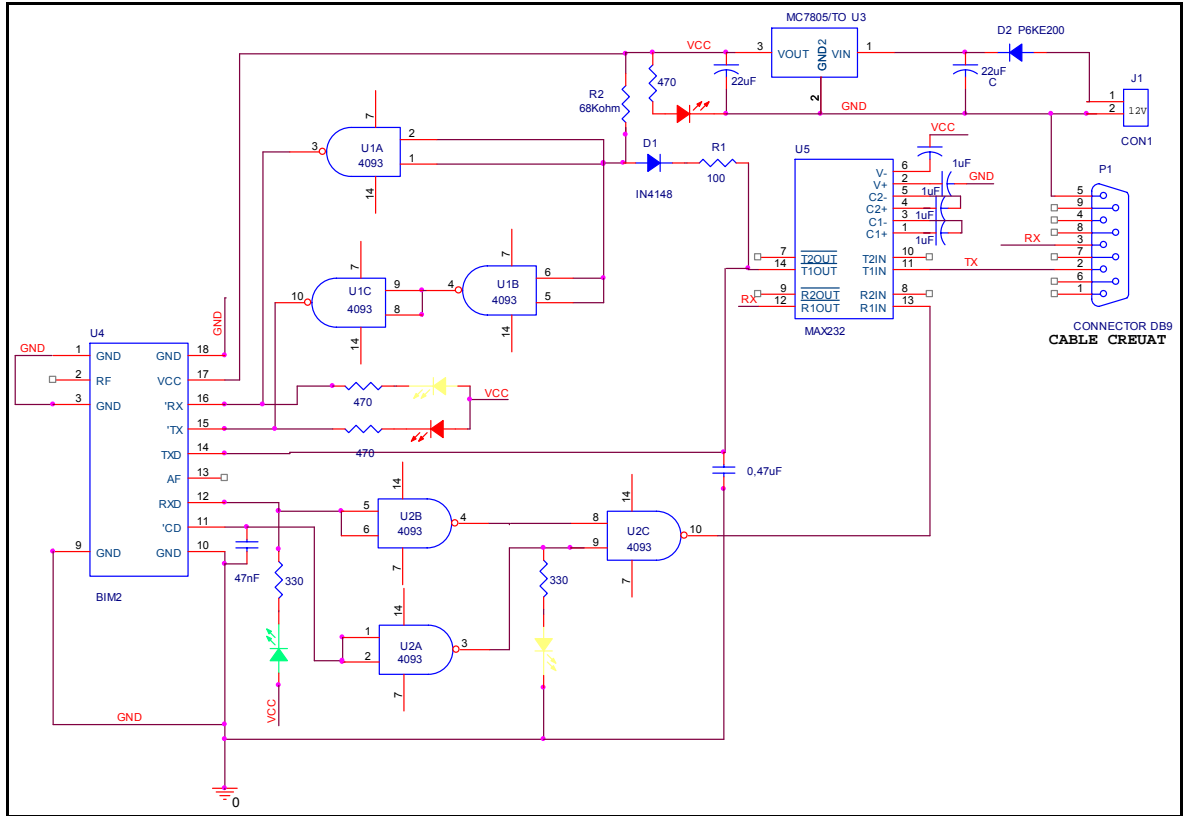


Figura A-8. Esquema Mòdul Radio – Placa PC.

A.2.ii. Placa Carregadora Bateries

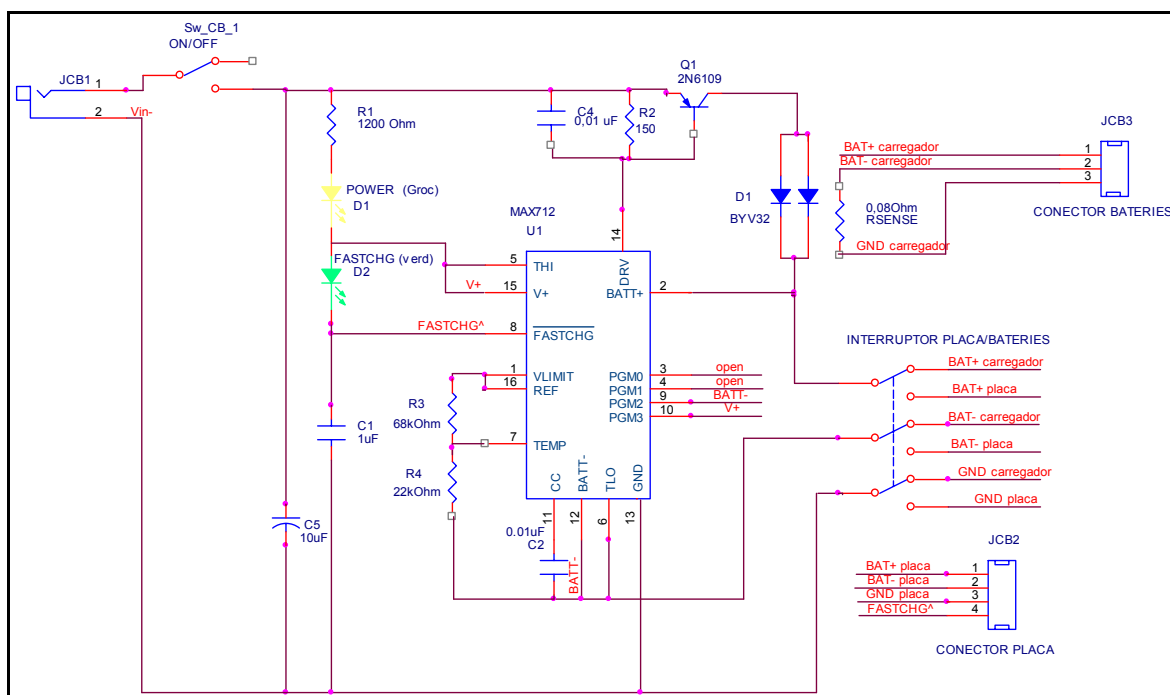


Figura A-9. Esquema Placa Carregadora Bateries.

B.Llistat Components

En les següents taules es fa un recull dels components materials i electrònics necessaris per a la construcció del microrobot i de la plataforma.

En la mateixa taula s'afegeix el cost¹ individual i el total per a cada component així com el cost total de cada subsistema.

B.1. Microrobot

Estructura - Mecànica - Altres	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Placa Metacrilat 5 mm 0,13 m ²	1	5,33	5,33
Rodes	2	7,50	15,00
Caster Ball (Ø=12,5 mm;20x45x20mm;M6x25)	1	8,47	8,47
Eixos (rodes)	2	1,00	2,00
Fixador Eix-Roda	2	0,15	0,30
Porta bateries AA 6 unitats	1	2,75	2,75
Placa Baquelita 100x160mm pas 2,54x2,54mm	1	3,01	3,01
Altres (separados CI, mètrica,cablejat,estany,...)	1	12,00	12,00
			48,86

Taula B-1. Components Microrobot (estructura , mecànica, altres).

¹ Els costos han estat extrets de les factures de compra de material i de les cases "RS" i "FARNELL IN ONE" d'on s'ha comprat la major part del material durant el període gener04-juny05.

Actuadors	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Servos Hitec 422 Deluxe	2	24,00	48,00
			48,00

Taula B-2. Components Microrobot (actuadors).

Bateries	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Batteries AA NI-MH 1600mAh	6	3,75	22,50
			22,50

Taula B-3. Components Microrobot (bateries).

Placa Sensorial-Actuadors	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Connectors 2,54 mm 4 vies mascle 180°	1	0,63	0,63
Connector 2,54 mm 4 vies femella	1	0,19	0,19
74LS04	1	0,38	0,38
L293D	1	2,83	2,83
			4,03

Taula B-4. Components Microrobot (placa sensorial-actuadors).

Port Expansió	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Connector Cable Pla mascle 180° 40 pins	2	1,26	2,52
Connector Cable Pla 40 pins	4	1,48	5,92
			8,44

Taula B-5. Components Microrobot (port expansió).

Infrarojos	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Sharp GP2D12	2	15,82	31,64
Connector 2 mm 3 vies femella	2	0,16	0,32
Connector 2,54 mm 2 vies mascle 90°	2	0,64	1,28
Connector 2,54 mm 2 vies femella	2	0,16	0,32
			33,56

Taula B-6. Components Microrobot (sensors infrarojos).

Bumpers	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Microinterruptors varilla llarga	6	1,80	10,80
Connector 2,54 mm 3 vies mascle 180°	2	0,49	0,98
Connector 2,54 mm 3 vies femella	2	0,30	0,60
74LS279	2	0,65	1,30
74LS2373	1	0,61	0,61
74LS21	1	0,62	0,62
Condensador 1uF	3	0,07	0,21
			15,12

Taula B-7. Components Microrobot (bumpers).

Encoder	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
EESX1042	2	2,93	5,86
Connector 2,54 mm 3 vies femella	4	0,20	0,80
Connector 2,54 mm 3 vies mascle 90°	2	0,72	1,44
Connector 2,54 mm 3 vies mascle 180°	2	0,49	0,98
Placa metacrilat 2 mm 0,06 m2	1	1,62	1,62
Placa xapa d'acer de 2 mm 0,06 m2	1	5,94	5,94
Resistència 220 Ω	2	0,19	0,38
Resistència 68 KΩ	2	0,19	0,38
Hex-40106	1	0,44	0,44
Condensador 1uF	1	0,07	0,07
			17,91

Taula B-8. Components Microrobot (encoders).

Etapa Potència	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Dissipador Calor T0-220	1		0,60
MIC2940A	1	3,15	3,15
MIC29302	1	11,09	11,09
Interruptor 180° monopolar 2 vies (conmutador)	2	1,25	2,50
Connector 2,54mm 5 vies mascle 90°	2	0,93	1,86
Connector 2,54mm 5 vies femella	2	0,22	0,44
Jumpers	2	0,18	0,36
Regleta pins 1 fila (wire wrap)	1	1,25	1,25
Led (verd) rectangular	1	0,14	0,14
Resistència 330 Ω	1	0,19	0,19
Condensador 2,2uF	1	0,02	0,02
Condensador 100uF	1	0,53	0,53
Condensador 10uF	2	0,10	0,20
Connector 2,54mm 2 vies mascle 90°	2	0,64	1,28
Regleta (per cable) 4 vies mascle 90° (5A)	1	0,40	0,40
Regleta (per cable) 4 vies femella 90° (5A)	1	2,23	2,23
Resistència 0,08Ω 4w 0,033 + 0,047)	2	1,39	2,78
Resistència 75 Ω	1	0,19	0,19
Potenciòmetre 0-450 Ω	1	2,94	2,94
			32,15

Taula B-9. Components Microrobot (etapa potència).

Mòdul Ràdio	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Interruptor 90° monopolar 2 vies	1	1,26	1,26
Led (vermell)	1	0,17	0,17
BIM2-433	1	45,00	45,00
HEF4093	1	0,56	0,56
HEF4001	1	0,57	0,57
Condensador 10nF	1	0,12	0,12
Resistència 470 Ω	2	0,19	0,38
Resistència 100 KΩ	1	0,19	0,19
Condensador 1uF	2	0,07	0,14
Jumper (placa expansió)	1	0,18	0,18
			48,60

Taula B-10. Components Microrobot (mòdul ràdio).

Placa Desenvolupament Sistemes Microcontrolats	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Max232	1	0,56	0,56
Condensador 1uF	4	0,07	0,28
Placa Circuit Imprés doble cara 100x160mm	1	4,03	4,03
Connector D 9 vies	1	7,15	7,15
74LS240A	1	0,71	0,71
Led (verd)	10	0,19	1,90
Rserie 470 Ω	1	0,21	0,21
Connector Cable Pla mascle 180° 40 pins	2	1,26	2,52
74LS373	1	0,61	0,61
Memòria Flash AM29040B	1	10,89	10,89
Memòria EPROM M27C512B	1	3,14	3,14
PALCE16V8	1	5,34	5,34
80C552	1	11,11	11,11
Jumpers	8	0,18	1,44
Polsador	2	0,71	1,42
Connector Alimentació $\Theta_i=1,45$ $\Theta_e=3$ L=9,5mm	1	0,70	0,70
LDO 7805	1	0,63	0,63
Resistència 470 Ω	2	0,19	0,38
Resistència 10 K Ω	3	0,19	0,57
Resistència 1 K Ω	2	0,19	0,38
Condensador 33pF	2	0,21	0,42
Oscil·lador 11.0592 Mhz	1	2,00	2,00
Condensador 2uF	1	0,07	0,07
Condensador 100nF	7	0,09	0,63
Condensador 22uF	1	0,19	0,19

57,28

Taula B-11. Components placa desenvolupament sistemes microcontrolats.

B.2. Plataforma

Placa Carregadora Bateries	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
Max712	1	9,42	9,42
Dissipador Calor T0-220	2	1,20	0,60
Placa Baquelita 100x160mm pas 2,54x2,54mm	1	3,01	3,01
Regleta (per cable) 3 vies mascle 90° (5A)	1	0,58	0,58
Regleta (per cable) 3 vies femella 90° (5A)	1	1,68	1,68
Regleta (per cable) 4 vies mascle 90° (5A)	1	0,40	0,40
Regleta (per cable) 4 vies femella 90° (5A)	1	2,23	2,23
Interruptor 90° monopolar 2 vies (5A)	1	2,56	2,56
Interruptor 90° tripolar 2 vies (5A)	1	7,22	7,22
Connector 2,54mm 2 vies mascle 180°	1	0,42	0,42
Connector 2,54mm vies femella	1	0,16	0,16
Led (verd)	1	0,19	0,19
Led (groc)	1	0,20	0,20
Diode Potència BYV32	1	1,49	1,49
Transistor 2N6109	1	0,89	0,89
Resistència 22 K Ω	1	0,19	0,19
Resistència 68 K Ω	1	0,19	0,19
Resistència 150 Ω	1	0,19	0,19
Resistència 150 K Ω	1	0,19	0,19
Resistència 0,08 Ω 4w (0,033 + 0,047)	2	1,39	2,78
Condensador np 1uF	1	0,07	0,07
Condensador np 0,01uF	2	0,12	0,24
Condensador 10 uF	1	0,10	0,10
			35,00

Taula B-12. Components Plataforma (placa carregadora bateries).

Placa Mòdul Radio PC	Quantitat unitats	Preu unitari €	Preu total €
BIM2-433	1	45,00	45,00
Connector 2,54mm 2 vies mascle 180°	1	0,42	0,42
Connector 2,54mm 2 vies femella	1	0,16	0,16
Placa Baquelita 100x160mm pas 2,54x2,54mm	1	3,01	3,01
Max232	1	0,56	0,56
Connector D 9 vies	1	7,15	7,15
LDO 7805	1	0,63	0,63
Condensador 1uF	7	0,07	0,49
HEF4093	2	0,56	1,12
Led (verd)	1	0,19	0,19
Led (groc)	2	0,20	0,40
Led (vermell)	1	0,17	0,17
Diode IN4148	1	0,02	0,02
Diode P6KE200	1	0,44	0,44
Condensador np 47nF	1	0,20	0,20
Condensador np 0,47uF	1	0,07	0,07
Condensador 22uF	2	0,19	0,38
Dissipador Calor T0-220		1,00	0,60
Resistència 68 K Ω	1	0,19	0,19
Resistència 470 Ω	3	0,19	0,57
Resistència 100 Ω	1	0,19	0,19
Resistència 330 Ω	2	0,19	0,38

62,34

Taula B-13. Components Plataforma (mòdul de ràdio).

C.Placa Carregadora Bateries

C.1. Configuració i Disseny de la Placa

Mitjançant el circuit integrat MAX712 és possible dissenyar un carregador de bateries.

Aquest carregador pot ser:

- “lineal mode” (mode lineal)
- “switch mode” (mode interruptor).

El primer dels modes utilitza menys elements en el disseny i permet mantenir el sistema alimentat per les bateries mentre s'efectua la recàrrega de les mateixes.

El segon mode és utilitzat quan es desitja dissipar menys calor i no permet l'alimentació de la càrrega.

Resulta obvi que per a les necessitats del robot, que ha de ser alimentat mentre s'efectua la recàrrega, s'ha d'utilitzar el primer model de carregador¹.

¹ Si és té més interès en el tema no només la casa *MAXIM* ofereix controls per a realitzar carregadors, en el CD adjunt es pot consultar el datasheet del MAX712 on s'explica com realitzar un carregador en “switch mode”.

A continuació presentem l'esquema (ja presentat en el capítol 6.2.4) per a realitzar el disseny d'un carregador en mode lineal.

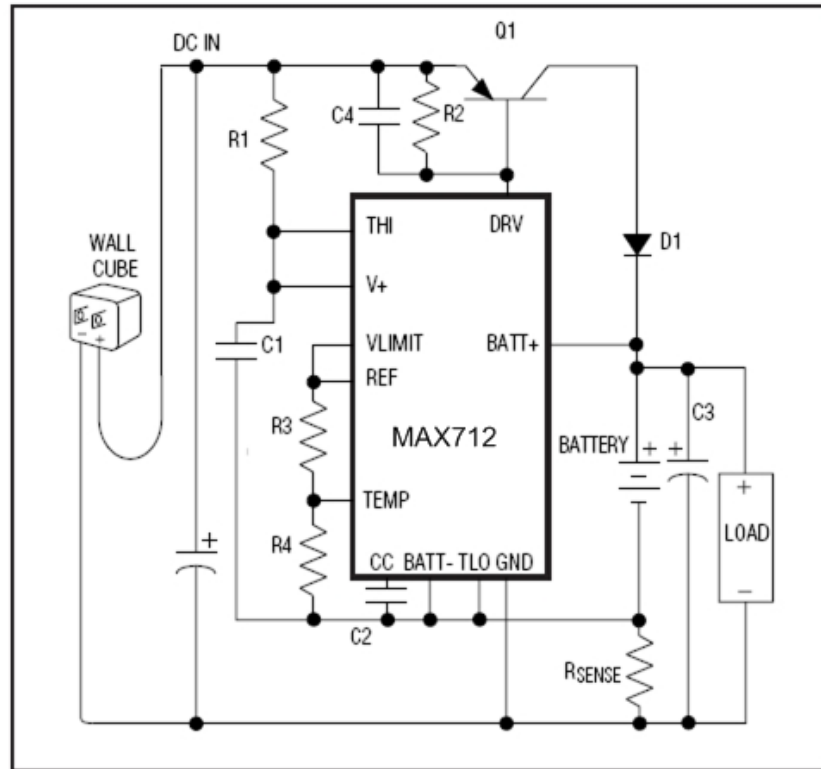


Figura C-1. Esquema Placa Carregadora de Bateria.

Per a seleccionar els elements característics s'han de seguir els següents passos:

1. En primer lloc s'ha de seleccionar l'índex de càrrega desitjat, el MAX712 admet índexs de càrregues de fins a 4C com a màxim i de C/4 com a mínim (això és degut a que el temporitzador intern per desconnectar el corrent de càrrega transcorregut un cert període de temps pot ser temporitzat amb un temps mínim de 22 minuts i un temps màxim de 264 minuts).

$$I_{\text{càrrega}} = (\text{Capacitat_Bateria en mAh}) / (\text{temps càrrega en hores}) \quad [\text{mAh}] \quad (\text{Eq,C-1.})$$

Com a criteri hem seleccionat la recàrrega del robot en 30 minuts. Per tant tenim un índex de càrrega de 2C (3200 mAh). Notar que per a realitzar la recàrrega s'ha de verificar que aquestes aguantin l'índex de càrrega seleccionat.

2. Un cop tinguem l'índex de càrrega seleccionat, s'ha de decidir quins mètodes per finalitzar la càrrega es desitgen emprar. El datasheet del MAX712 ens ofereix la següent guia:

Índex Càrrega	NIMH Bateries	NiCd
>2C	$\Delta V/\Delta t$ i temperatura	$\Delta V/\Delta T$ i/o temperatura
2C a C/2	$\Delta V/\Delta t$ i/o temperatura	$\Delta V/\Delta T$ i/o temperatura
<C/2	$\Delta V/\Delta t$ i/o temperatura	$\Delta V/\Delta T$ i/o temperatura

Taula C-1. Mètodes de terminació en funció índex càrrega.

Per al microrobot emprem bateries de NiMH i un índex de càrrega de 2C per tan podem escollir si realitzar una finalització per diferència de voltatge o temperatura (o tots dos).

Per a simplificar el circuit realitzarem la finalització de la càrrega detectant $\Delta V/\Delta t=0$ (és a dir quan la pendent del voltatge en funció del temps es igual a 0)¹.

3. Decidir el nombre de cel·les a ser recarregades. Els pins PGM0 i PGM1 han de ser configurats de forma adequada en funció d'aquest nombre. La entrada del ADC del MAX712 està limitada entre 1,4V i 1,9V, i és igual a al voltatge en borns de la bateria entre el nombre de cel·les. Per tan si aquests pin's no estan ben configurats la terminació de càrrega per $\Delta V/\Delta t=0$ no tindrà el comportament esperat.

4. Elegir el voltatge de la font d'alimentació:

Aquest ha de ser més gran de 6V i com a mínim d'1,5V més gran que el voltatge màxim de les bateries. Aquesta elecció com la anterior també és crítica ja que si no subministrem el voltatge adequat la terminació $\Delta V/\Delta t=0$ tampoc tindrà el comportament esperat.

¹ En el datasheet del MAX712 que s'adjunta en el CD de documentació també s'indica com realitzar una finalització de carrega detectant la temperatura. Per aquest mètode són necessaris thermistors.

El valor de d'alimentació mínim ve donat per la següent equació (equació ja exposada al apartat 6.2.4):

$$DCin = 1.5 + (n^{\circ} \text{Cel·les} \cdot V_{\max}) \quad [V] \quad (\text{Eq.C-2})$$

On el n° Cel·les és 6 i el V_{\max} és el voltatge màxim que pot arribar una cel·la de NiMH. Les bateries utilitzades arriben al 1,6V a voltant del 110% de la seva capacitat.

Per tan el valor $DCin$ obtingut és igual a: 11,1 V.

5. S'ha de calcular el poder de dissipació necessari del diode D1 i del transistor pnp Q1. La potència de dissipació màxima ve donada per la següent equació:

$$PD = (DCin_{\max}) - (V_{\min} \cdot n^{\circ} \text{Cel·les}) \cdot I_{\text{càrrega}} \quad [W] \quad (\text{Eq.C-3})$$

On $DCin_{\max}$ és el voltatge d'alimentació màxim (hem calculat en l'apartat anterior un voltatge de 11.1, agafem 15 V com a mesura de seguretat) i V_{\min} és el mínim voltatge d'una cel·la de NiMH quan està descarregada i que és aproximadament 1.1 V. La $I_{\text{càrrega}}$ és igual a 2C (on C és la capacitat de la bateria en Ampers).

Per tan obtenim una potència a dissipar de 26.88 Watts.

El Q1 i el D1 escollits poden dissipar 40 W i 60 W respectivament (aproximadament amb els dissipadors de calor adequats).

6. El corrent a $V+$ s'ha de limitar entre 5mA i 20mA. L'elecció de R1 ha de seguir la següent equació:

$$R1 = \frac{DCin_{\min} - 5}{5 \cdot 10^{-3}} \quad [\Omega] \quad (\text{Eq.C-4})$$

Amb un $DCin_{\min}$ de 11,1V que és el voltatge mínim d'alimentació, obtenim una R1 de 1220 Ω .

7. La resistència R_{sense} s'ha d'elegir en funció de la següent equació:

$$R_{sense} = \frac{0.25}{I_{càrrega}} \quad [\Omega] \quad \text{(Eq.C-5)}$$

S'obté una R_{sense} de 0,078 Ω .

8. Finalment només cal configurar els pins PGM2 i PGM3 per a determinar el màxim temps de càrrega i per activar o desactivar el control de càrrega mitjançant $\Delta V/\Delta t=0$.
9. Els elements que queden per determinar es troben en els esquemes elèctrics de la placa carregadora de bateries (veure planell elèctric A.2.ii).

C.2. Manual Usuari

La placa Carregadora de bateries està inicialment configurada per a la càrrega de 6 cel·les de NiMH amb una capacitat de 1600 mAh. Finalització de la càrrega als 33 minuts del seu inici o un cop a detectat que $\Delta V/\Delta t$ és igual a 0.

Les diferents opcions que es poden modificar són el nombre de cel·les a carregar, els mètodes de finalització de càrrega i el voltatge de la font d'alimentació (en funció de la font d'alimentació exterior que s'utilitzi).

En els següents quadres tenim les configuracions dels PINS PGM0 a PGM3:

Nombre de Cel·les	PGM1	PGM0
1	V+	V+
2	Open	V+
3	REF	V+
4	BATT-	V+
5	V+	Open
6	Open	Open
7	REF	Open
8	BATT-	Open
9	V+	REF
10	Open	REF
11	REF	REF
12	BATT-	REF
13	V+	BATT-
14	Open	BATT-
15	REF	BATT-
16	BATT-	BATT-

Taula C-2. Configuració de PGM0 i PGM1 en funció del nombre de cel·les a carregar.

Temps Màxim Càrrega	Finalització Càrrega per $\Delta V/\Delta t$	PGM3	PGM2
22	Activat	V+	Open
22	Desactivat	V+	Ref
33	Activat	V+	V+
33	Desactivat	V+	BATT-
45	Activat	Open	Open
45	Desactivat	Open	Ref
66	Activat	Open	V+
66	Desactivat	Open	BATT-
90	Activat	REF	Open
90	Desactivat	REF	Ref
132	Activat	REF	V+
132	Desactivat	REF	BATT-
180	Activat	BATT-	Open
180	Desactivat	BATT-	Ref
264	Activat	BATT-	V+
264	Desactivat	BATT-	BATT-

Taula C-3. Configuració de PGM2 i PGM3 .

En la següent Figura veiem una imatge de la placa carregadora de bateries i els cables de Wire-Wrap per a configurar el temps de càrrega i el nombre de cel·les:

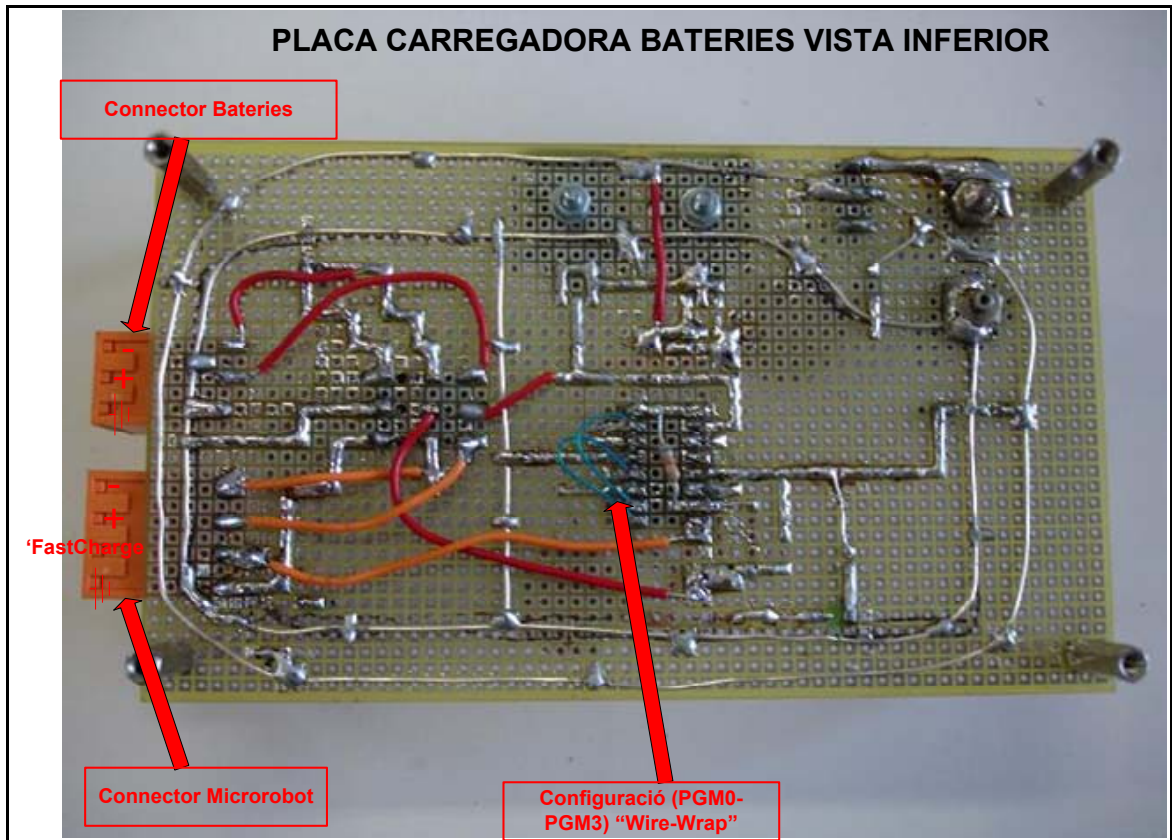


Figura C-2. Placa Carregadora Bateria's. Vista inferior.

C.2.i. Altres Configuracions:

En el cas que no es carreguin 6 cel·les o el temps de càrrega sigui diferent a 33 minuts o la capacitat de les bateries no sigui de 1600 mAh caldrà refer els càlculs del apartat C.1. i tenir en compte els següents punts:

- Caldrà la reconfiguració mitjançant "Wire Wrap" dels pins PGM0 a PGM3 en funció de les taules corresponents (Taula C-2 i Taula C-3).
- La tensió d'alimentació podrà canviar en funció del nombre de cel·les.

En els casos que la resistència "Rsense" (veure

- Figura 6-11 de la pàgina 80 de la memòria) s'hagi de canviar només serà possible de la placa carregadora de bateries. Per tant si es desitja carregar les bateries al mateix temps que s'alimenta al microrobot s'haurà de refer part de la circuiteria de la placa sensorial i de potència o no es podran complir els temps establerts de recàrrega.
- En els casos que Q1 i D1 s'hagin de canviar s'haurà de modificar la circuiteria de la placa carregadora de bateries.

D. Configuració/Programació PAL

La PAL és un element de la placa de desenvolupament de sistemes configurable a través de software/hardware. Com a primera funció genera les senyals de control dels circuits integrats (memòria EPROM i memòria FLASH) de la placa de desenvolupament. A més a més i mitjançant el bus d'expansió ofereix dues senyals d'entrada i tres que es poden configurar com entrada/sortida per donar a l'usuari la possibilitat d'implementar funcions lògiques.

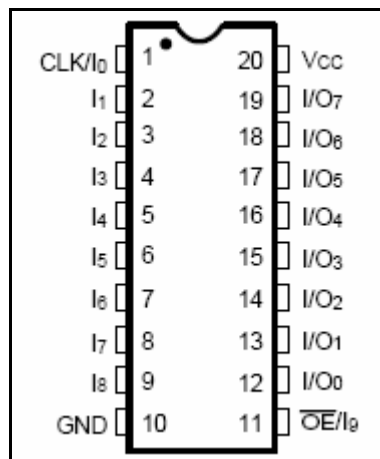


Figura D-1. PALCE16V8.

L'esquema de la PAL a la placa de desenvolupament és la següent:

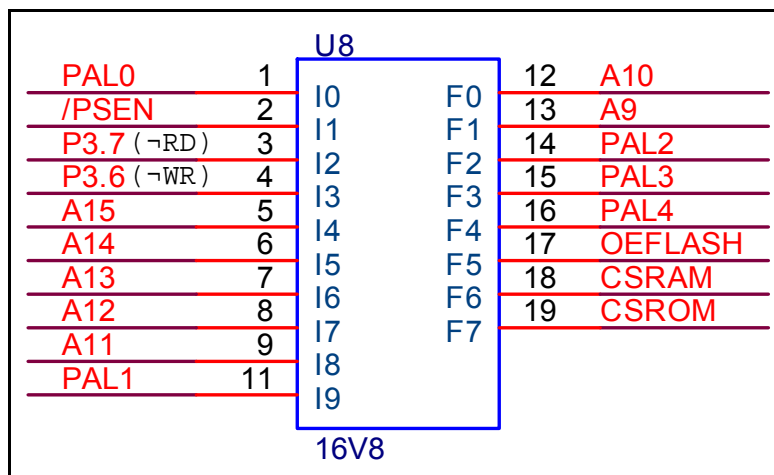


Figura D-2. Esquema PALCE16V8.

Es descriuen a continuació les entrades i sortides de forma general de la PAL de la FiguraD-2:

- PINS [I₀-I₉]: Pins configurables com entrades de la PAL.
- PINS [F₀-F₉]: Pins configurables com entrada i/o sortida.

Les característiques individuals de cada PIN són les següents:

1. PAL0 i PAL1: Entrades de la PAL que es pot accedir a través del port d'expansió.
2. PAL2, PAL3 i PAL4: Entrades i Sortides de la PAL que es poden accedir a través del port d'expansió.
3. /PSEN: aquesta entrada prové del micro i s'activa (amb lògica negada) cada cop que s'intenta llegir de la memòria de programa.
4. 'WR i 'RD: entrades que provenen del micro i indiquen a la PAL si s'efectua a la memòria de dades si s'efctua una operació de lectura o d'escriptura.
5. CSRAM: Sortida que habilita la memòria FLASH.
6. CSROM: Sortida que habilita la memòria EPROM.
7. OEFLASH: Sortida que habilita a la memòria EPROM volcar les dades en cas de que es faci una lectura.

D.1. Configuració PAL

Continuació es presenten els tres programes amb els quals es pot configurar la PAL:

- **Basic:** Si la PAL està programada amb aquest codi un cop s'alimenta la placa de desenvolupament el micro passarà a executar el codi de programa guardat a la memòria EPROM¹. Aquest codi no és operatiu amb el microrobot a no ser que es vulguin desactivar els bumpers i no es vulgui utilitzar el software del programa carregador per a programa la memòria FLASH. A més a més s'haurà de grabar el codi definitiu que es vulgui utilitzar a la memòria EPROM (es continuarà utilitzant la memòria FLASH com a memòria de dades).
- **Carregador.** Si la PAL està programada amb aquest codi un cop s'alimenta la placa de desenvolupament es passarà a executar el codi de programa guardat a la memòria EPROM.

Si sobre la EPROM hi ha grabat el programa "carregador.hex", en un primer moment buscarà mitjançant el port sèrie comunicació amb el programa carregador del PC, si existeix esperarà a que l'usuari descarregui el nou programa a la memòria FLASH. Si no existeix passarà a executar el programa previament salvat a la memòria FLASH.

Notar que que si no esta gravat el programa "carregador.hex" a la memòria EPROM executarà el programa que es trobi a la memòria EPROM i utilitzarà la memòria FLASH com a memòria de dades.

¹ Per a la programació de la memoria EPROM primer de tot és necessari desposar de una memoria esborrada. Per esborrar una memoria EPROM previament gravada es necessari radiarla durant uns 30 mintus amb raigs ultravioletes. Per a la grabació de la memoria EPROM previament esborrada és necessari desposar d'un fitxer en codi HEXADECIMAL. En el CD de documentació y software que acompanya la memoria adjuntem el programa carregador necessari per utilitzar la memoria FLASH. El fitxer s'anomena "carregador.hex."

- **Bumpers:** Si la PAL està programada amb aquest codi un cop s'alimenta la placa de desenvolupament tindrà el mateix comportament que en el cas anterior amb l'afegit que depenen les crides realitzades a la memòria de dades realitzarem un mapejat del bus dades.

Notar que si no està gravat el programa "carregador.hex" a la memòria EPROM executarà el programa que es trobi a la memòria EPROM i utilitzarà la memòria FLASH com a memòria de dades però amb la possibilitat de realitzar un mapejat dels bus de dades. En aquest cas no tindrem la possibilitat d'utilitzar el programa carregador i el codi gravat en la memòria EPROM haurà d'esser definitiu.

D.2. Programació de la PAL.

A continuació presentem el tres codis dels programes anteriors de la memòria PAL:

- **Basic:**

```
/* *****BASIC***** */
/* ***** INPUT PINS ***** */
PIN 2 = PSEN;
PIN 3 = RD;
PIN 4 = WR;
PIN 5 = A15;
PIN 6 = A14;
PIN 7 = A13;
PIN 8 = A12;
PIN 9 = A11;
PIN 12 = A10;
PIN 13 = A9;
/* ***** OUTPUT PINS ***** */
PIN 19 = CSROM;
PIN 18 = CSFLASH;
PIN 17 = OEFLASH;
/* ***** LÒGICA ***** */
CSROM = 'b'0;
CSFLASH = 'b'0;
OEFLASH = RD;
```

Taula D-1. Programa "Basic" de la PAL.

En aquest codi com s'observem a la Taula D-1, en la primera part (INPUT PINS) es defineixen els PINS de la PAL que s'utilitzaran com a entrades de la PAL.

En la segona part (OUTPUT PINS) es defineixen el pins que faran de sortida.

En la tercera part (LÒGICA) es defineixen les funcions lògiques que governaran els pins de sortida. S'observa que les sortides "CSROM" i "CSFLASH" estan permanent activades (funcionen amb lògica negada). I s'activa la sortida de la memòria FLASH (per a volcar les dades al bus) quan el micro realitza una activació del pin RD (quan el micro activa la sortida RD és que vol realitzar una lectura de la memòria de dades).

Carregador.

```

/* *****CARREGADOR***** */
/* ***** INPUT PINS ***** */
PIN 2 = PSEN;
PIN 3 = RD;
PIN 4 = WR;
PIN 5 = A15;
PIN 6 = A14;
PIN 7 = A13;
PIN 8 = A12;
PIN 9 = A11;
PIN 12 = A10;
PIN 13 = A9;
/* ***** OUTPUT PINS ***** */
PIN 19 = CSROM;
PIN 18 = CSFLASH;
PIN 17 = OEFLASH;
/* ***** LÒGICA ***** */
CSROM = !(A15&A14&PSEN);
CSFLASH = !(((A15#A14)&PSEN)#(!RD#!WR));
OEFLASH = RD&PSEN;

```

Taula D-2. Programa "Carregador" de la PAL.

En aquest cas les funcions lògiques no són tan fàcils d'interpretar:

S'activa la memòria EPROM (CSROM a nivell baix) en el cas que es compleixin les condicions següents:

1. s'activi la sortida del micro PSEN (per lògica negada).
2. els dos bits de més pes que direccionen les adreces de memòria estiguin a nivell baix.

Si A15 i A14 es troben a nivell baix la màxima adreça que es pot direccionar es 3FFFh, com es podia observar en la Figura 7-1. Mapa memòria del Microrobot, entre les posicions 0x0000h i 0x3FFFh es troba el programa carregador.

Per a activar la memòria FLASH (CSFLASH a nivell baix) només s'haurà de donar alguna de les condicions següents:

1. que vulguem llegir o escriure de la memòria de dades (que el micro activi a nivell baix les entrades de la PAL "WR" i "RD").
2. que vulguem accedir a la memòria de programa a una adreça superior a la 3FFFh i per tant vulguem executar el programa resident a la memòria FLASH.

La sortida de la memòria FLASH s'activarà en el cas que estiguem llegint dades (RD=0) o vulguem capturar les instruccions del codi de programa de les direccions de memòria superior.

- **Bumpers:**

```

/* *****BUMPERS ***** */
/* ***** INPUT PINS ***** */
PIN 2 = PSEN;
PIN 3 = RD;
PIN 4 = WR;
PIN 5 = A15;
PIN 6 = A14;
PIN 7 = A13;
PIN 8 = A12;
PIN 9 = A11;
PIN 12 = A10;
PIN 13 = A9;
/* ***** OUTPUT PINS ***** */
PIN 19 = CSROM;
PIN 18 = CSFLASH;
PIN 17 = OEFLASH;
PIN 14 = BUMPERS;      /*PAL 2*/
PIN 15 = RESET;       /*PAL 3*/
/* ***** LÒGICA ***** */
CSROM = !(A15&A14&PSEN);
CSFLASH = !(((A15#A14)&PSEN)#(!RD#!WR));
OEFLASH = (RD&PSEN)#(A15&A14&A13&A12&A11&A10&RD);
BUMPERS = !(A15&A14&A13&A12&A11&A10&A9&RD);
RESET = !(A15&A14&A13&A12&A11&A10&A9&RD);

```

Taula D-3 Programa "Bumpers" de la PAL.

El funcionament d'aquest programa és idèntic a l'anterior amb les excepcions de quan intentem accedir a les direccions de memòria concretes de les variables "sr" i "reset" (veure apartat 5.4.2), en aquest cas es desactiva la FLASH i es volquen al bus de dades els senyals dels registres que emmagatzemen els valors dels bumpers (PAL2=0) o els posem a 0 (PAL3=0) en funció de la variable a la qual haguem intentat accedir.

E. Descripció placa sensorial.

En la següent Figura es mostren els diferents elements més importants i funcionals.

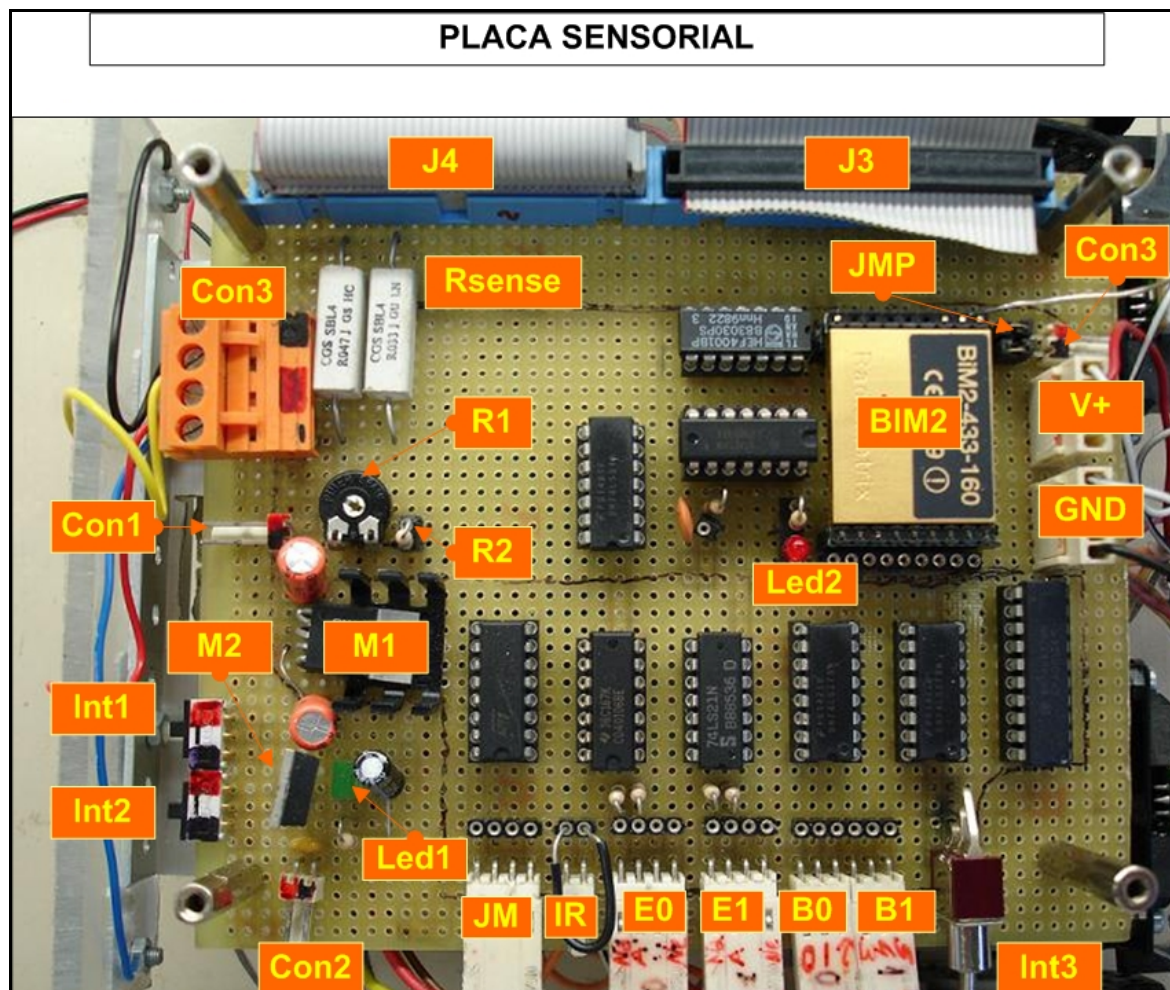


Figura E-1. Placa Sensorial.

A continuació es realitza una descripció de cada element i la seva funció:

- **Con1:** Connector d'alimentació de les bateries. (26V i 8,35V).
- **Con2:** Connector que alimenta l'entrada del regulador M2. No s'utilitza perquè és redundant però serveix per mesurar la tensió d'alimentació a l'entrada del regulador M2.

- **Con3:** Aquest connector ens ofereix la possibilitat en un futur de tenir una sortida regulada de 0V i 5V. També podem utilitzar aquest connector per mesurar la tensió d'alimentació que rep la placa de desenvolupament de sistemes.
- **B0:** Connector senyals d'entrada bumpers [0,1,2].
- **B1:** Connector senyals d'entrada bumpers [3,4,5].
- **BIM2:** El transreceptor BIM2-433.
- **E0:** Connector encoder 0.
- **E1:** Connector encoder 1.
- **GND:** Tensió regulada a 0V
- **Int1:** primer interruptor de seguretat d'alimentació (interruptor ON_OFF). Si està desconnectat no alimentem el regulador M1.
- **Int2:** segon interruptor de seguretat d'alimentació (interruptor ON_OFF). Si està desconnectat no alimentem el regulador M2.
- **Int3:** Interruptor per alimentar el mòdul de ràdio.
- **IR:** Connector senyals analògics dels sensors d'infrarojos.
- **J3:** Connector Port Expansió. (Parella del connector J2 de la placa de desenvolupament de sistemes).
- **J4:** Connector Port Expansió. (Parella del connector J2 de la placa de desenvolupament de sistemes).
- **JM:** Connector dels motors 0 i 1.
- **JMP:** Jumpers de seguretat. Per a alimentar la placa de desenvolupament de sistemes han d'estar connectats.
- **Led1:** Aquest led indica que existeix tensió regulada a 5V a la sortida del regulador M2.
- **Led2:** Aquest led indica que el mòdul de ràdio és encès.

- **M1**:LDO 29302. (tensió d'entrada entre 26 i 6V).
- **M2**:LDO 2940A. (tensió d'entrada entre 26V i 5,35V).
- **R1**:potenciòmetre. Resistència entre [0-450 Ω]. (Amb la resistència R2 i el regulador M1 permeten obtenir una tensió a l'entrada del regulador 2 i als motors ajustable).
- **R2**: resistència 75 Ω . (Amb la resistència R1 i el regulador M1 permeten obtenir una tensió a l'entrada del regulador 2 i als motors ajustable).
- **Rsense**: resistència de 0.80 Ω .
- **V+**: Tensió regulada a 5V.