

Robot per a un Museu

Sergi Juan Moreno
2n Batxillerat
Treball de Recerca
Jordi Orts

Índex

1. Introducció.....	3
2. Disseny.....	6
2.1. Robot.....	6
2.2. Plaques.....	8
2.3. Modes i sensors.....	9
2.4. Plànols.....	12
A) Xassís.....	12
B) Placa control.....	14
D) Placa potència.....	16
2.5. Llista de materials.....	17
2.6. Planificació.....	20
2.7. Pressupost.....	22
3. Conclusió.....	24
3.1. Problemes durant el muntatge.....	24
A) Robot.....	24
B) Plaques.....	25
3.2. Objectiu inicial del projecte.....	27
3.3. Valoració personal.....	28
3.4. Possibles millores.....	29
4. Bibliografia.....	30
4.1. Llibres.....	30
4.2. Pàgines web.....	30
4.3. Datasheets.....	30
4.4. Programes utilitzats.....	31
5. Annex.....	32
5.1. Muntatges de prova.....	32
5.2. Documents diversos.....	39
5.3. Fotografies del procés.....	41

1. Introducció

El meu objectiu és fer un robot destinat a l'educació i l'aprenentatge. Ha de tenir diverses funcions per tal de poder explicar experimentalment els diversos comportament i el funcionament de cada una d'elles.

També seria necessari un sistema eficaç de comunicació bidireccional amb un ordinador per poder controlar el robot a distància i canviar-ne el mode. Aquest podria ser mitjançant infraroig o radiofreqüència.

Primer de tot, ha de ser robust per poder aguantar xocs i vibracions sense espantllar-se. També ha de ser lleuger perquè, així, consumirà menys energia i el conjunt de motors-reductors i les rodes patiran menys esforços. En segon lloc, ha de poder-se controlar mitjançant un ordinador per tal de canviar la funció a distància.

Ha d'incloure algunes de les funcions més utilitzades dels robots actuals amb rodes: seguir línies, no xocar amb les parets, apartar-se en cas de xoc, seguir llum, evitar caure per un desnivell, etc. L'objectiu seria fer una curta explicació de cada mode i el principi de funcionament.

Les bateries han de tenir una autonomia força elevada perquè l'objectiu inicial del robot és una exposició permanent en un museu, i ha d'estar el màxim de temps funcionant. Es poden fer diverses distribucions: una sola bateria de 9V per a tot el Robot (caldrà regulador de tensió), una de 9V pels motors i una de 5V per la placa de control o una bateria de 9V pels motors i una altra d'igual per a la placa de control (caldrà regulador de tensió). Les possibles fonts són: bateries de plom (difícils de carregar, molt pesades i grans però amb molta capacitat), bateries de modelisme (lleugeres, fàcils de carregar), bateries de liti (molt lleugeres, molta capacitat però difícils de carregar). Una altra opció, en cas de no trobar una solució, és utilitzar piles de 9V connectades en paral·lel per tal d'augmentar la seva capacitat.

La mobilitat es podria fer mitjançant dues erugues amb cinta de goma, dues rodes motrius i una de boja o un sistema de tres rodes motrius especials, (amb rodets que permeten un desplaçament lateral). En tots tres casos és necessari l'ús de motors-reductors per tenir més potència i menys velocitat.

Seria interessant dissenyar un dispositiu per mesurar la càrrega de les bateries i monitoritzar alguna dada a l'ordinador, a part de crear un programa que canviï el mode del robot a buscar la base de càrrega en detectar un nivell de càrrega inferior a un límit prefixat.

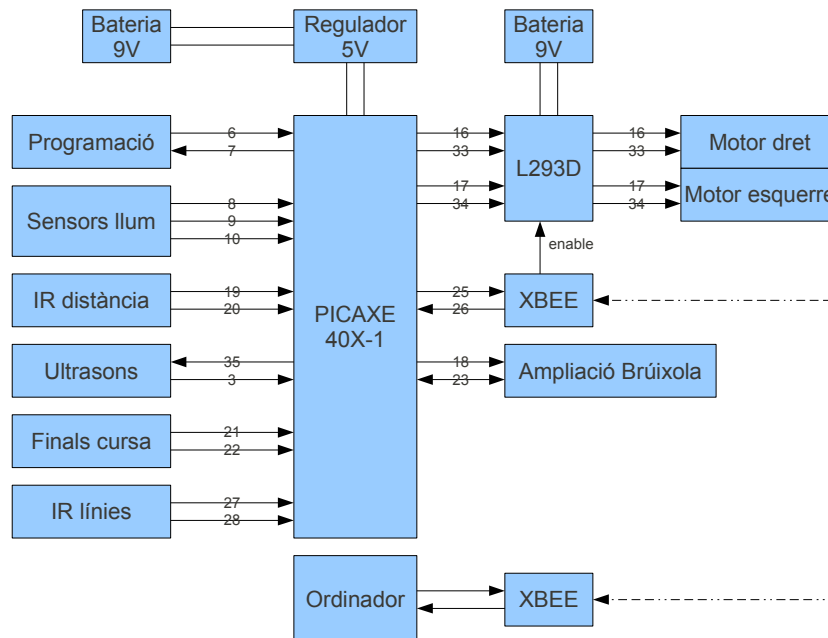
El mètode mitjançant el qual el robot trobaria la base podria ser un sistema de LEDs IR i receptors orientats de tal manera que guiessin els moviments del robot en l'aproximació. Una altra solució és mitjançant el seguiment d'una línia imantada, per diferenciar-la de la línia del circuit. També es podria mirar si es pot aconseguir un sensor de línies que fos sensible als colors; d'aquesta manera el robot podria seguir una o l'altra en funció del mode.

Com a sensors de llum, es podria utilitzar un sensor de Llum-voltage, és a dir, dóna una tensió lineal de funció de la intensitat de llum que rep. Una altra opció són les LDR que, encara que no són sensors lineals, no són tan sensibles a la claror.

El robot ha d'utilitzar un PICAXE (xip programable) com a microprocessador perquè és un sistema fàcil d'utilitzar, econòmic i molt versàtil. Permetria les actualitzacions i millora de programa simplement connectant el cable AXE027. El xip ha de tenir el suficient nombre d'entrades i sortides per tal de poder connectar-hi els sensors i els actuadors necessaris; també cal tenir en compte les possibles funcions de cada pota.

Els possibles modes del robot podrien ser: seguir la llum, evitar objectes a distància, detector de xocs, evitar caure per un desnivell, detectar la temperatura a distància, orientar-se mitjançant una brúixola, localització GPS, seguir línies (si és possible, de diversos colors), control remot mitjançant les tecles de direcció del teclat de l'ordinador, detecció de bateria baixa (i anar a la base per carregar-se), comunicació i transmissió de dades amb l'ordinador per la selecció de mode i la monitorització del funcionament dels motors i sensors, encesa de llums quan és fosc, seguir objectes calents mitjançant sensors d'infraroig a distància.

Diagrama de blocs el robot original:



Com podem veure al dibuix, els dos blocs centrals componen la part lògica de tot el muntatge. Fan referència al microcontrolador PICAXE 40X-1 i a l'ordinador amb el que es podria controlar el robot a distància, mitjançant la XBEE. El PICAXE, per la seva banda, rep informació de l'exterior a través dels sensors i actua a través del seu moviment, és a dir, els motors, en funció al programa descarregat a la seva memòria interna.

2. Disseny

2.1. Robot

El xassís del robot serà una planxa de Poliestirè Vidre de 5 mm (mesures originals de DIN-A4) perquè és un material lleuger però molt resistent i fàcil de treballar. Les dimensions finals seran, aproximadament, 24,5 cm de llarg i 21 cm d'ample. El frontal estarà doblegat cap a dalt 3,5 cm per poder



col·locar el mesurador de distància ultrasònic i els finals de cursa. A ambdós costats hi haurà uns espais lliures perquè s'hi puguin encabir les rodes i quedin més protegides. També faré forats al xassís per collar la roda boja, els dos suports hexagonals pels sensors de seguiment de línies, les rodes motrius, els vuit suports per les plaques i el forat per passar els cables dels motors i els sensors.

La tracció es portarà a terme mitjançant dos motors-reductors i dues rodes vermelles (poliures de 4 cm de diàmetre i 0,5 cm d'amplada) amb una goma negra al seu voltant (corretja de les poliures petites). La reducció estarà constituïda per un pinyó solidari al motor (10 dents), quatre rodes dentades dobles (27 dents – 9 dents) i un plat solidari a l'eix de la roda (30 dents), la qual aportarà una relació de transmissió de $i=1/243$.



Per unir l'eix a la roda vermella, podia fer-ho roscant l'extrem de l'eix i fixant-la amb femelles i volanderes autoblocants, o bé, mitjançant una peça de plàstic translúcid en forma de cilindre i amb un extrem més ample (funciona com a junta a pressió). Al final



vaig escollir l'opció de la peça de plàstic perquè en altres projectes similars en

els que s'havien de fer muntatges semblants, les femelles quasi sempre s'acabaven afluixant i la roda sortia amb facilitat.

El tercer punt de suport del robot serà una roda boja col·locada al davant de tot de la plataforma. Serà de metall amb rodaments (fixació i estructura) i plàstic rígid de color negre (roda). Al tenir el cos metàl·lic, és més resistent a cops i esforços.



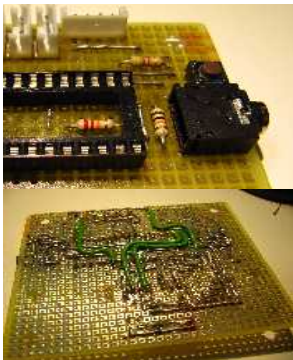
A causa de la falta de temps, la font d'alimentació constarà de piles de 9V connectades en paral·lel (al menys dues pel circuit de potència). Les opcions de llegir la càrrega de les bateries i construir una base de càrrega queden desestimades pel mateix motiu.

2.2. Plaques

El control del robot es farà amb un PICAXE40X-1. El disseny de la placa, però, permetrà la connexió d'un 40X-2 per a futures



possibles ampliacions. Aquesta incorporarà les resistències de 10k Ω i de 22k Ω , el condensador de 100nF i el jack estèreo de programació de 3,5mm per poder programar el PICAXE directament sense haver d'extreure'l del sòcol. La placa



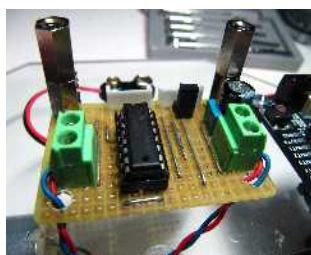
de control també disposarà del pulsador de *Reset* del PIC i les connexions blanques mascle dels sensors i les altres plaques del robot. A causa de la complexitat de la placa, i la necessitat de creuar un elevat nombre de pistes en poc espai, hauré de soldar pistes aïllades (amb coberta de goma) per la part de sota de la placa, a part de les que ja aniran soldades en superfície per les dues cares.

Per regular la tensió de les bateries fins a 5,00V, utilitzaré el xip 7805 soldat a la placa de regulació, juntament amb els condensadors de polièster de 100nF i els electrolítics, de 220 μ F al davant i de 100 μ F al darrere, per tal de protegir tot el sistema. Les



connexions a les bateries i a la placa de control les efectuaré amb regletes de connexió. Per refrigerar millor el regulador, col·locaré un dissipador amb silicona termoconductora.

Els motors estaran controlats per la placa de potència. El xip utilitzat serà el L293D, específic per a aquest ús. La placa, com a mesura de protecció, també incorporarà un parell de condensadors, un electrolític de 470 μ F i un altre de polièster de 100nF, tots dos connectats de positiu (potència) a massa per



evitar irregularitats de la tensió. Pel que fa als motors, tots dos tindran un condensador ceràmic de 100nF connectat a les seves connexions. La connexió amb la placa de potència l'efectuaré mitjançant dues regletes de connexió dobles (cada parell per a cada motor).

2.3. Modes i sensors

A causa de la falta de temps i la complexitat d'alguns modes, no tots estan operatius. Tot seguit es mostra el principi de funcionament de cada una de les modalitats del robot original:

- Seguir llum:

Mitjançant tres sensors LDR disposats de tal manera que formen 120° entre ells. Aquesta col·locació permet controlar tot l'entorn. Els dos de la part del davant guien el robot cap a la llum: si el dret en rep més, la roda dreta frenarà fins equilibrar el valor analògic; si és l'esquerre, s'aturarà la roda esquerra. La LDR posterior indica que el focus lluminós és al darrere, per tant, el robot s'aturarà i girarà uns 180°.

- Evitar objectes a distància:

Aquest comportament se serveix de dos tipus de sensors: un ultrasònic analògic al davant i dos infrarojos digitals als costats (a 45° respecte el d'ultrasons).

El PICAXE llegeix el valor en centímetres del sensor d'ultrasons i, en el cas de ser més petit de 30, desvia lleugerament la direcció del robot cap a la dreta fins que deixa de trobar un obstacle a menys d'aquella distància.

Els sensors laterals són els de curt abast, estan configurats a 10 centímetres. Si el dret detecta un obstacle, el robot s'atura i gira sobre si mateix cap a l'esquerra. Si el detecta l'esquerre, ho fa cap a la dreta.

En cas de que el sensor d'ultrasons detecti un objecte a menys de 10 centímetres de distància, el robot para, recularà una mica, i gira cap a l'esquerra.

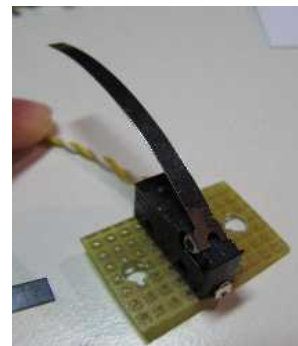
- Detector de xocs:

Es tracta del mode més senzill de tots. Consta de dos finals de cursa amb les llengüetes molt llargues i disposats de tal manera que cobreixen pràcticament tot el frontal del robot. Quan un d'ells topa amb un obstacle, el robot s'atura i gira cap a l'altre costat uns 90°.

- Seguir línies:

El robot estarà programat per seguir la línia negra un cop la trobi. En cas de perdre la línia, automàticament s'activa el mode de xocs per tal de permetre al robot seguir avançant fins a trobar un altre cop la pista.

El funcionament és molt semblant al del mode xocs. El robot vol seguir la línia negra, per tant, si un sensor detecta blanc, immediatament atura la roda contrària per tornar a sobre de la línia.



- Comunicació bidireccional mitjançant XBEE¹:

Aquest és el mode inicial. Amb un ordinador i el sistema XBEE es manté una comunicació en ambdues direccions que ens permet modificar el mode del robot i rebre informació del funcionament dels motors i dels sensors. També forma part d'una modalitat. Es tracta del control remot. Mitjançant botons de la pantalla de l'ordinador es poden enviar diverses ordres al robot com, per exemple, avança, para, gira cap a la dreta i recula.

El robot té un total de 10 sensors, ampliable a 11 mitjançant la connexió destinada a aquest fi (com per exemple una brúixola). També queden dues entrades analògiques lliures, que, en un futur, es podrien utilitzar per mesurar calor, humitat, etc.

- Els sensors de llum:

Seràn tres LDRs orientats, cadascun, a 120° dels altres en el pla horitzontal. N'hi haurà dos al davant (dreta i esquerra) i un al darrere (per si la font de llum es troba a la part posterior del robot). Cada LDR anirà



¹Actualment aquesta és la modalitat no operativa, per tant, no es pot ni el mode del robot a distància ni la comunicació ordres/dades ni el control remot.

soldat en una petita placa i portarà el seu potenciòmetre per regular-ne la sensibilitat.

- La detecció de xocs:

Estarà constituïda per dos finals de cursa amb la llengüeta llarga. Aniran soldats a un tros de placa fortament fixada al frontal del xassís.

- Els sensors per seguir línies:

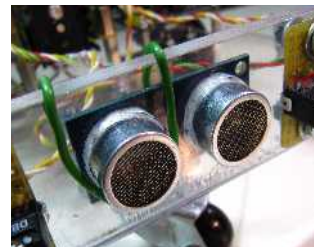
Seràn dos detectors fotoelèctrics de curta distància que assenyalaran si hi ha reflexió o no del LED infraroig (cinta aïllant negra no reflecteix i cartolina blanca sí reflecteix).



- El sistema per d'evitar objectes:

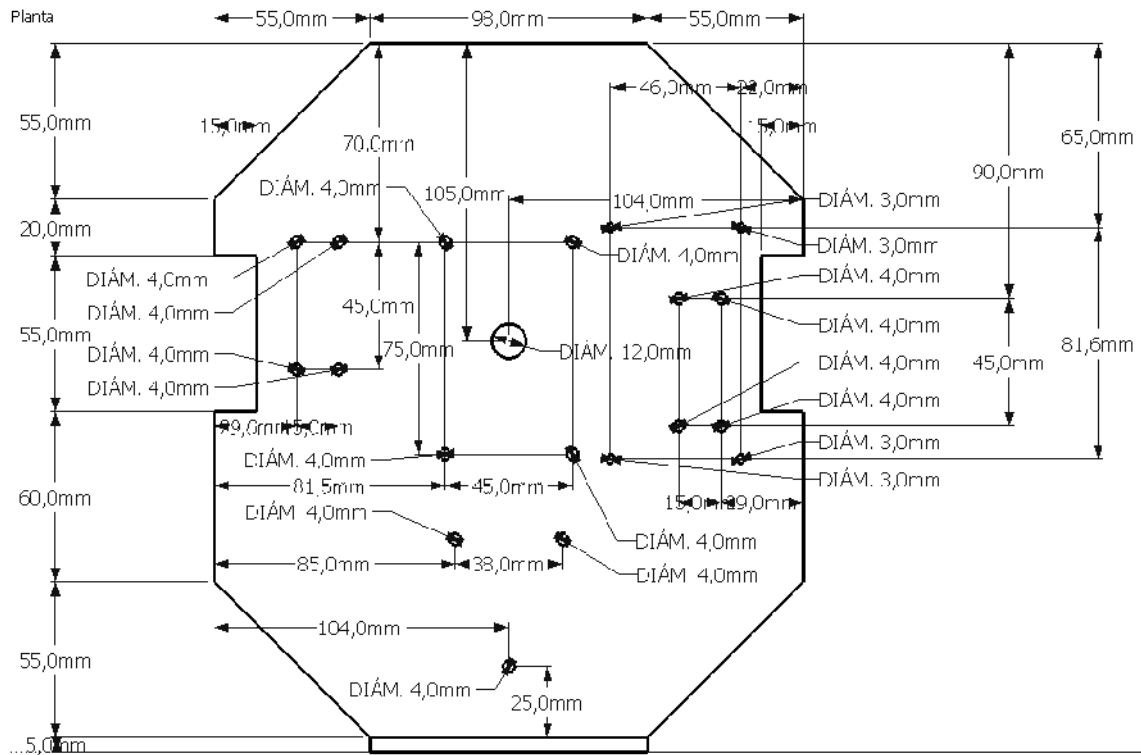
Estarà format per un mesurador de distància analògic mitjançant ultrasons col·locat al frontal del robot i una parella de sensors de distància digitals d'infraroig fixats a les cantonades del davant.

- El sensor d'ultrasons anirà encaixat en dos forats del frontal del xassís. Portarà els cables soldats i, amb la connexió blanca de 4 pins, es connectarà a la placa de control. Per subjectar el mòdul al xassís utilitzaré un filferro que agafi el sensor pels dos costats.



- Els sensors d'infraroig estaran soldats a una placa, juntament amb la resistència d' 1Ω i el condensador ceràmic de 100nF . Tots dos es connectaran a la placa de control mitjançant un connector blanc de 4 pins comú.





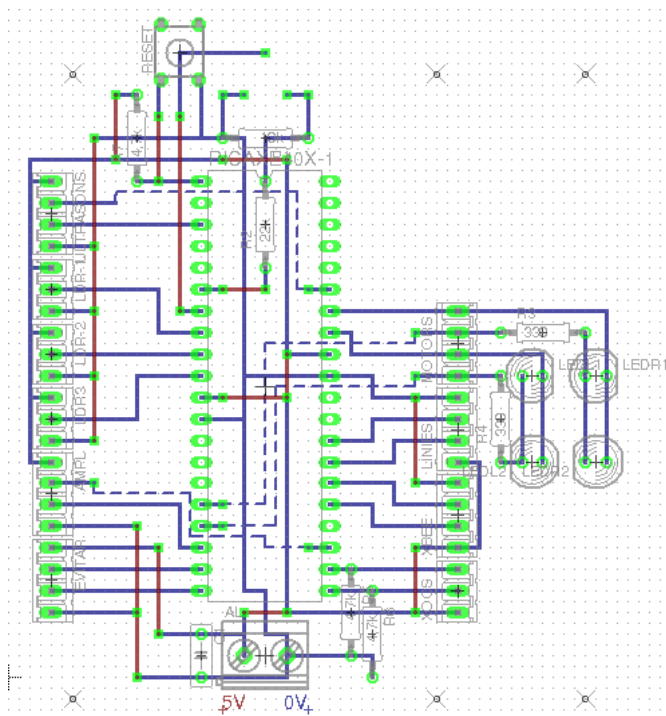
La vista de planta del xassís ens facilita les distàncies i les mesures dels forats efectuats a la base. Podem distingir el forat central de 12 mm de diàmetre utilitzat per passar els cables de la part de sota fins a les plaques. Entre els forats de 4 mm tenim els que serveixen per collar les plaques de control, potència i regulació (els quatre que envolten al forat de 12 mm) i els destinats a fixar la roda boja (part inferior), el suport dels sensors de línies (els dos forats entre la roda i les plaques) i els forats per fixar les reductores dels dos motors (els quatre enganxats als espais per albergar-hi les rodes). Els forats de 3 mm són els de la placa de comunicació amb la XBEE que, com es pot veure al plànol, aquesta se situa a sobre de la caixa reductora de la roda esquerra (la imatge està girada: el frontal del robot queda a la part inferior).

B) Placa control

Tots els dissenys de circuits exposats en aquesta memòria segueixen les mateixes pautes:

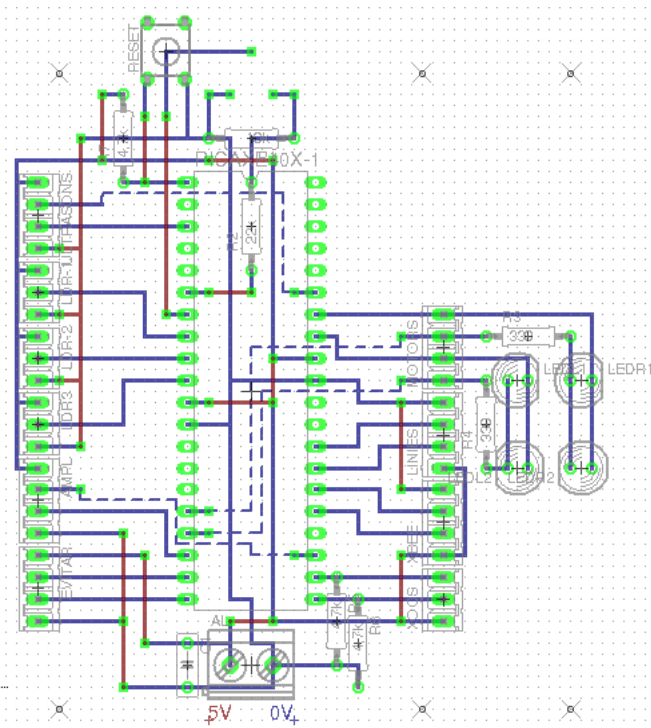
- Línia vermella: pista per la part superior de la placa.
- Línia blava: pista per la part inferior de la placa.
- Línia discontinua: Senyala una pista aïllada (cablejat). El color indica la cara.
- Quadrats verds: Punts de soldadura amb una pista travessant la placa (passa d'una cara a l'altra).
- Components i soldadures: Sempre estan col·locats a la cara superior i soldats per la inferior.

Als tres dissenys del circuit de control hi manca el connector Jack stereo de 3,5mm perquè no hi és a la biblioteca de l'Eagle. El component es troba situat al costat del pulsador Reset i per damunt de la resistència de 10k Ω (a sobre del PICAXE).

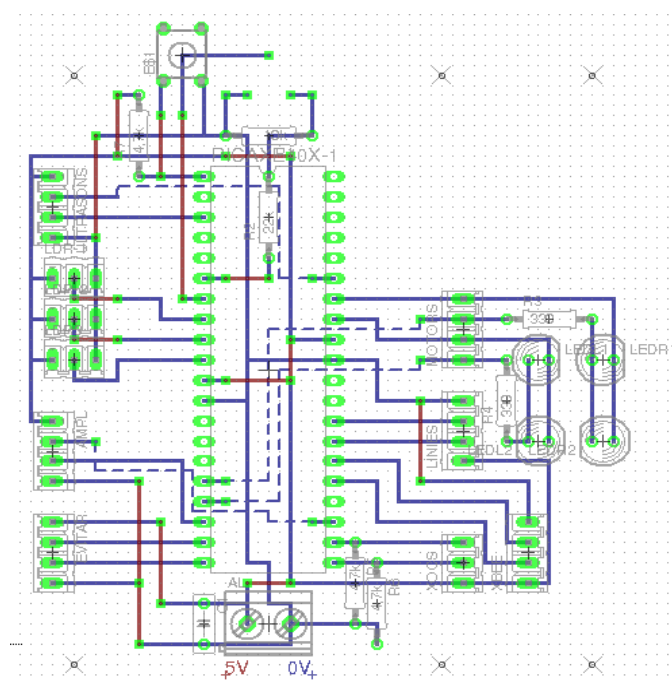


1.- Els connectors blancs mascles no són exactament iguals als utilitzats al robot. Els de l'Eagle només ocupen els forats que s'utilitzen per connectar-se, els que faig servir al robot, ocupen un forat més de llargada (mig per cada costat). És per aquest motiu que vaig haver de canviar el disseny pel del circuit número 3.

La pista vermella del negatiu causava massa problemes a l'hora de soldar els punts cap a l'altra banda de la placa i, per tant, vaig haver de modificar el circuit



2.- El segon disseny encara té les connexions mal col·locades però ja s'ha solucionat el problema de les pistes.



3.- Aquest és el circuit definitiu. Com podem observar, el problema de les connexions s'ha solucionat alliberant espai de les línies laterals. El tres connectors dels LDRs estan de costat i el connector del mòdul XBEE està desplaçat a la dreta del connector de xocs.

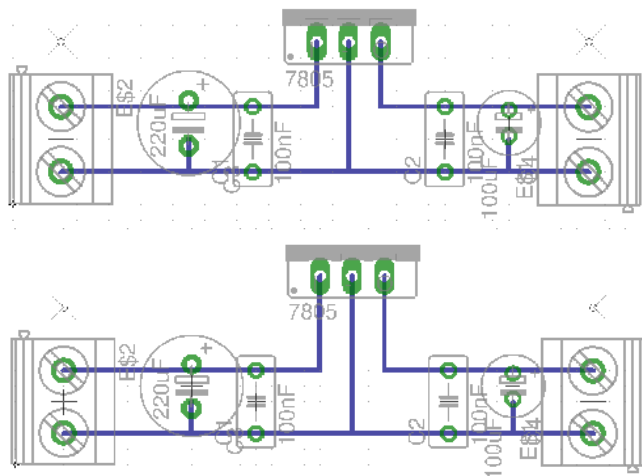
A la part superior dreta hi ha un espai lliure per a futures ampliacions de la placa, principalment destinades a

element de sortida (LEDs, altaveus, més motors, electroimants, etc.).

Els connectors de la placa són, de dalt a baix i d'esquerra a dreta, els següents:

- Ultrasons (4pins), LDRs (3pins x 3connectors), connexió d'ampliació (4pins), sensor IR per evitar objectes (4pins), control dels motors (4pins), sensors per seguir línies (4pins), finals de cursa (3pins) i XBEE (4pins).

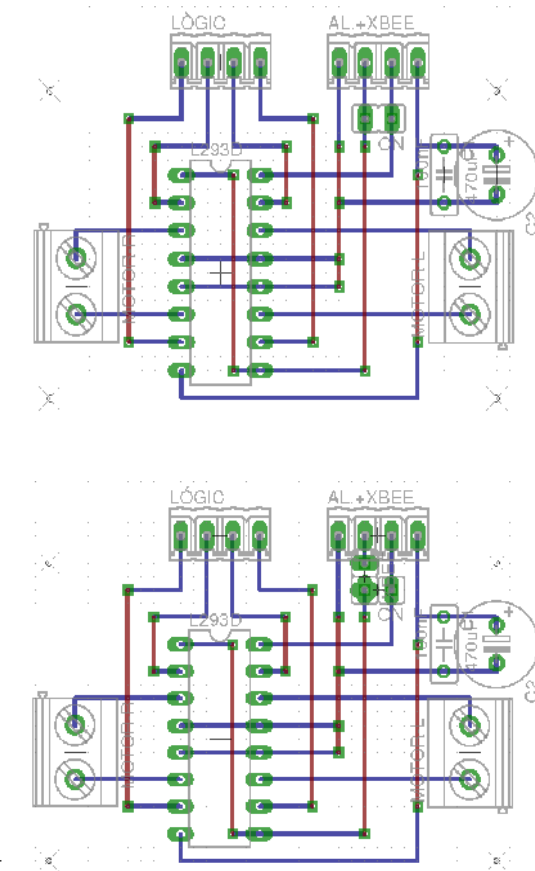
C) Placa regulació



Aquesta és la placa de regulació del robot. Baixa una tensió de 9V a 5V justos; els necessaris per fer funcionar el PICAXE. Podem observar la parella de condensadors a l'entrada i a la sortida com a mesura de protecció.

L'única modificació que he fet en aquesta placa ha estat moure un forat el 7805 cap enfora per evitar que el dissipador no toqui la placa de control, col·locada a sobre.

D) Placa potència



La placa de potència és la que dóna tensió als motors. En rebre el senyal del PICAXE a través del connector LÒGIC, el L293D amplifica el senyal i l'envia per la sortida, a les regletes.

En aquest primer circuit, la XBEE donava tensió permanent als Enables del xip (si no reben tensió, aquest no funciona). El perill que suposava aquest circuit era el de connectar el jumper a 5V, quan el mòdul XBEE funciona a 3V com a màxim. La solució va ser fer un símil d'interruptor entre l'entrada de 3V i la de 5V. Es tracta d'un jumper de tres pins col·locats en L, per problemes d'espai i disseny, que només es pot connectar o a 5V o a 3V (XBEE).

2.5. Llista de materials

	Llista de materials	Descripció	Unitats
Robot i fixacions	Planxa de Polièstirè vidre (5mm)	Xassís el robot	1
	Motor elèctric	De 4V a 12V	2
	Caixa reductora negra de plàstic	Reducció $i=1/243$	2
	Politja de plàstic vermella	Llanta rodes $\varnothing=40\text{mm}$	2
	Corretja negra	Pneumàtic rodes	2
	Roda boja metàl·lica	Roda del davant	1
	Cargol M4 15 mm	C. cilíndrica / Pla	19
	Cargol M4 05 mm	C. cilíndrica / Pla	4
	Cargol M3 08 mm	C. cilíndrica / Pla	4
	Cargol motors M3 04 mm autorosc.	C. rodona / Estrella	4
	Femella M4	Hexagonal	15
	Femella M3	Hexagonal	4
	Volandera M4 $\varnothing=8$ mm	Subjecció	32
	Volandera M4 $\varnothing=11$ mm	Subjecció	19
	Cinta adhesiva de Velcro	Subjectar bateries	20cm
Placa control	PICAXE40X-1*	Microprocessador	1
	Resistència 10k Ω	Programació	1
	Resistència 22k Ω	Programació	1
	Resistència 330 Ω	LEDs motors	3
	Resistència 4,7k Ω	Pull-ups	3
	LED verd	Endavant motors	2
	LED vermell	Enrere motors	2
	Connector Jack Estèreo 3,5mm	Programació	1
	Condensador polièster 100nF	Protecció	1
	Placa circuit imprès de 2,54mm	Plaques	30x34
	Filferro de pistes	Connexió	1m
	Connector blanc mascle 3 pins	Sensors	4
	Connector blanc mascle 4 pins	Sensors i connexió	6
	Sòcol 40 pins	Connexió PICAXE	1
	Polsador	Reset del PIC	1
Regleta connexions 2 pins	Alimentació	1	
Final cursa	Microruptor llarg	1(2)	

Xocs (2)	Cable colors	Connexió	25x4cm
	Connector blanc femella 3 pins	Connexió	1
	Placa circuit imprès de 2,54m	Pull-Up	9x13(2)
Llum (3)	LDR	Sensor de llum	1(3)
	Cable colors	Connexió	15x3cm(3)
	Connector blanc femella 3 pins	Connexió	1(3)
	Potenciòmetre 100k Ω	Sensibilitat LDR	1(3)
Ultra-sons	SRF005	Sensor ultrasons	1
	Cable colors	Connexió	20x4cm
	Connector blanc femella 4 pins	Connexió	1
Sensor IR (2)	GP2Y0D340K	Sensor distància IR	1(2)
	Resistència 1 Ω	Funcionament	1(2)
	Condensador ceràmic 100nF	Protecció	1(2)
	Cable colors	Connexió	18x3cm(2)
	Connector blanc femella 4 pins	Connexió	1
	Placa circuit imprès de 2,54m	Plaques	7x15(2)
Línies	CNY70	Sensor línies IR	2
	Cable colors	Connexió	25x4cm(2)
	Connector blanc femella 4 pins	Connexió	1
	Resistència 330 Ω	LEDs IR	2
	Placa circuit imprès de 2,54m	Plaques	8x15
Potència	L293D	Control motors	1
	Condensador polièster 100nF	Protecció	1
	Condensador electrolític 470 μ F	Protecció	1
	Filferro de pistes	Connexió	40cm
	Regleta connexions 2 pins	Sortida motors	2
	Connector blanc mascle 4 pins	XBEE i alimentació	2
	Sòcol 16 pins	Conexió L293D	1
	Jumper selector	Selecció XBEE o 5V	1
	Pins del jumper	Disposició en L	3
	Connector blanc mascle 4 pins	Alimentació i entrada	2
	Connector blanc femella 4 pins	Cable entrada	2
	Cable colors	Connexió	12x4cm
Motor	De 4V a 12V	1(2)	

Motor (2)	Condensador ceràmic	100nF	1(2)
	Cable vermell i blau	Connexió	9x2cm(2)
Regulació	Regulador 7805	5.00V	1
	Condensador polièster 100nF	Protecció	2
	Condensador electrolític 470µF	Protecció	1
	Condensador electrolític 100µF	Protecció	1
	Filferro de pistes	Connexió	14cm
	Cargol M3 05 mm	C. cilíndrica / Pla	1
	Femella M3	Hexagonal	1
	Dissipador d'alumini	26x26x12mm 3 forats	1
Comunicació	Mòdul XBEE	Mòdul comunicació	2
	AXE210	Placa comunicació	2
	Cable colors	Connexió	16x4cm
	Connector blanc femella 4 pins	Connexió	1
	AXE027	Cable dades	1

*-El disseny de la placa de control permet la connexió d'un PICAXE40X-2, amb més funcions i memòria, ja que les connexions s'ajusten al *pin-out*.

Per soldar les plaques i els altres components electrònics he utilitzat estany. També he fet servir cola termofusible per subjectar els cables a les plaques i als connectors, i així evitar que les soldadures es forcin excessivament, i per fixar els mateixos cables i els sensors de distància IR al xassís del robot.

2.6. Planificació

	Operacions	Materials	Eines	Temps
Base robot	Dissenyar xassís.	Full de paper per fer el model en 3D.	Paper, llàpis, regla i goma.	02:00
	Marcar les línies de tall.	Planxa de Polièstirè (5mm).	Retolador permanent. Regle.	00:15
	Tallar la planxa.	Planxa de Polièstirè (5mm).	Serra de ferro. Serjants.	01:30
	Marcar els forats que hem de fer.	Planxa de Polièstirè (5mm).	Retolador permanent. Regle.	00:15
	Fer els forats.	Planxa de Polièstirè (5mm).	Trepant de taula. Serjants.	00:30
	Polir cantonades i engrandir forats dels ultrasons.	Planxa de Polièstirè (5mm). Sensor d'ultrasons.	Llima de ferro. Dremel.	01:00
	Marcar línia per on hem de doblegar.	Planxa de Polièstirè (5mm).	Retolador permanent. Regle.	00:10
	Doblegar planxa.	Planxa de Polièstirè (5mm).	Plegadora. Regle metàl·lic.	00:30
Motors	Muntar els motors-reductors.	2 Motors elèctrics. 2 Reductores. Volanderes. Rodes i politges.	Tornavís. Serra de metall i cargol de banc (tallar eix rodes).	00:20
	Provar la relació adient.	Motors-reductors.	Pila 9V.	00:20
Plaques de circuit imprès i sensors	Marcar forats i línies de tall de les plaques.	Placa circuit imprès (2,54mm).	Llapis. Regle. Goma.	00:30
	Fer forats a les plaques.	Placa circuit imprès (2,54mm).	Trepant de taula. Guants protecció.	00:15
	Tallar plaques.	Placa circuit imprès (2,54mm).	Serra de vogir elèctrica. Guants protecció.	00:30
	Polir plaques tallades.	Plaques circuit tallades (2,54mm).	Llima triangular fina.	00:30
	Soldar components de les diverses plaques (control, potència, comunicació, regulació i sensors).	Placa circuit tallades (2,54mm). Components diversos.	Soldador. Alicates de tall oblic. Pinces.	06:00

		Estany.		
Plaques XBEE	Soldar plaques XBEE	2x Kit comunicació.	Soldador. Alicates de tall oblic. Pinces.	02:00
	Comprovar i sincronitzar XBEE.	2x Mòduls XBEE.	Ordinador. AXE027. Kits comunicació.	00:30
Comprovació robot	Verificar que no hi ha cap curtcircuit a les plaques i que totes les pistes estan ben soldades.	Plaques soldades.	Multímetre en mode ohmímetre sonor.	00:30
	Comprovar el correcte funcionament de les reductores.	Motors-reductors.	Pila de 4,5V	00:15
Muntatge del robot	Fixar motors-reductors i roda boja al xassís.	Motors-reductors. Roda boja. Xassís. 9x Cargols M4. 9x Femelles. 18x Volanderes.	Tornavís punta plana. Clau fixa del 7.	00:15
	Col·locar ultrasons.	Sensor ultrasons. Robot. Cable de filferro.	-	00:05
	Posar sensors de xocs.	Placa finals cursa. Robot. 4x Cargols M4. 20x Volanderes.	Tornavís punta plana. Clau fixa del 7.	00:10
	Fixar sensors línies.	Placa línies. 2x Cargols M4 4x Suports hexagonals 15mm. 10x Volanderes.	Tornavís punta plana. Clau fixa del 7.	00:15
	Sensors distància IR.	Sensors.	Termoencoladora.	00:10
	Muntar plaques.	Plaques. Suports hexagonals, cargols i femelles. Sensors llum.	Tornavís punta plana. Clau fixa del 7 i del 5.	00:20
	Connectar plaques.	Robot.	Pinces. Tornavís estrella.	00:10
	Fer i carregar programa.	Robot.	Ordinador.	03:00
Total temps (hores)				22:15

2.7. Pressupost

	Llista de materials	Preu u. (/m.)	Unitats	Preu t.
Robot	Caixa reductora negra de plàstic	3,00 €	2	6,00 €
	Cinta adhesiva de Velcro	2,00 €	20cm	0,40 €
	Cargol M3 08 mm	0,10 €	4	0,40 €
	Cargol M4 05 mm	0,10 €	4	0,40 €
	Corretja negra	0,25 €	2	0,50 €
	Femella M3	0,10 €	4	0,40 €
	Femella M4	0,10 €	15	1,50 €
	Motor elèctric	10,00 €	2	20,00 €
	Planxa de Poliestirè vidre (5mm)	3,00 €	1	3,00 €
	Politja de plàstic vermella	0,50 €	2	1,00 €
	Roda boja metàl·lica	3,00 €	1	3,00 €
	Volandera M4 $\varnothing=8$ mm	0,05 €	32	1,60 €
	Volandera M4 $\varnothing=11$ mm	0,05 €	19	0,95 €
	Electrònica	AXE027	12,29 €	1
AXE210		13,69 €	2	27,38 €
Cable colors		0,16 €	6	0,96 €
Cargol M3 05 mm		0,10 €	1	0,10 €
Cola termofusible		1€/100g	10g	0,10 €
Condensador ceràmic 100nF		0,10 €	2	0,20 €
Condensador electrolític 100uF		0,30 €	1	0,30 €
Condensador electrolític 220uF		0,30 €	1	0,30 €
Condensador electrolític 470uF		0,30 €	1	0,30 €
Condensador polièster 100nF		0,10 €	4	0,40 €
Connector blanc femella 3 pins		0,05 €	4	0,20 €
Connector blanc femella 4 pins		0,07 €	5	0,35 €
Connector blanc mascle 3 pins		0,05 €	4	0,20 €
Connector blanc mascle 4 pins		0,07 €	6	0,42 €
Connector Jack Estéreo		0,10 €	1	1,10 €
CNY70		0,66 €	2	1,32 €
Dissipador d'alumini		0,44 €	1	0,44 €
Estany		2€/100g	10g	0,20 €
Filferro de pistes		0,25 €	160cm	0,40 €

Final cursa	1,00 €	2	2,00 €
GP2Y0D340K	8,46 €	2	16,92 €
Jumper selector	0,10 €	1	0,10 €
LDR	0,30 €	3	0,90 €
LED verd	0,20 €	2	0,40 €
LED vermell	0,20 €	2	0,40 €
L293D	3,69 €	1	3,69 €
PICAXE40X-1*	5,85 €	1	5,85 €
Pins del jumper	0,02 €	6	0,12 €
Placa circuit imprès	1,84 €	2	3,68 €
Polsador	0,50 €	1	0,50 €
Potenciòmetre	0,20 €	3	0,60 €
Regulador 7805	4,00 €	1	4,00 €
Resistència 1 Ω	0,10 €	2	0,20 €
Resistència 10k Ω	0,10 €	1	0,10 €
Resistència 22k Ω	0,10 €	1	0,10 €
Resistència 330 Ω	0,10 €	4	0,40 €
Resistència 4,7k Ω	0,10 €	1	0,10 €
Regleta connexions 2 pins	0,55 €	5	2,75 €
Sòcol 16 pins	1,30 €	1	1,30 €
Sòcol 40 pins	2,50 €	1	2,50 €
SRF005	15,13 €	1	15,13 €
XBEE	20,47 €	2	40,94 €
Total (euros)			188,79 €

Mà d'obra: 60€/h

Temps total: 22:15h

Preu mà d'obra: 1344€

Preu materials: 188,79€

+ 18% d'IVA = 222,77€

Preu total: 1.566,77€

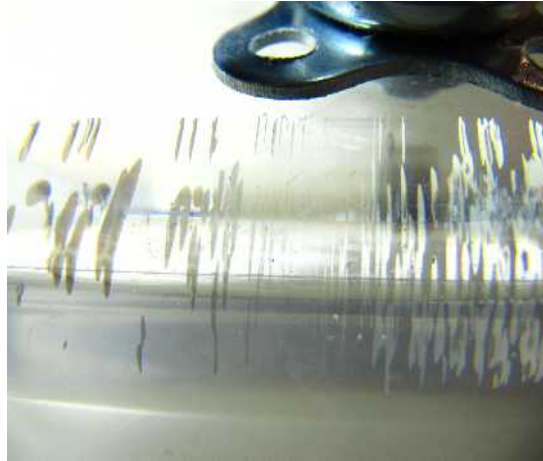
*-El disseny de la placa de control permet la connexió d'un PICAXE40X-2, amb més funcions i memòria, ja que les connexions s'ajusten al *pin-out*.

3. Conclusió

3.1. Problemes durant el muntatge

A) Robot

Durant la construcció del robot he tingut alguns problemes amb la base de poliestirè. Quan la tallava o llimava els forats on col·locaria els ultrasons, el plàstic es fonia i dificultava l'avenç de la serra i de la mola, respectivament. També em vaig preocupar molt amb les esquerdes que van començar a aparèixer a la zona doblegada, suposadament a causa de les tensions internes originades per un refredament massa ràpid de la planxa, i que s'anaven fent més grans fins a assolir una mida d'uns 2 cm de llarg (és el cas de l'esquerda central, la més gran i visible).



Un altre aspecte que m'ha portat complicacions ha estat muntar els engranatges reductors. Havia d'ajustar la carcassa fins al punt que els engranatges no vibressin al girar però evitant que quedessin massa pressionats i es frenessin. És aconsellable posar una mica de greix a les reductores per evitar el desgast i les vibracions amb l'ús.

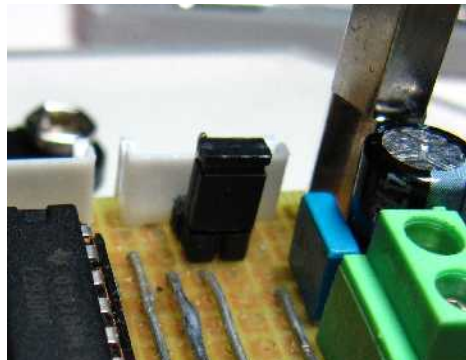


B) Plaques

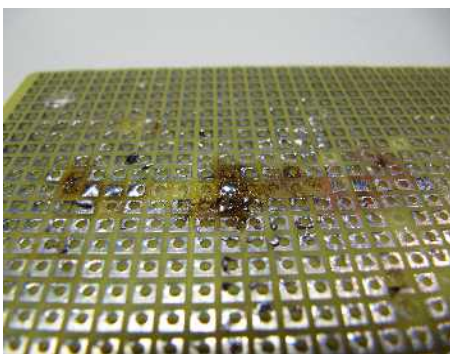
El muntatge de les diverses plaques ha estat una tasca extremadament difícil. Primer de tot tenia el problema del disseny. Havia de fer una placa compacta i que facilités al màxim les soldadures. També buscava la forma d'utilitzar el mínim nombre de connexions mitjançant cablejat (pistes aïllades amb la coberta de plàstic).

En dissenyar el circuit dels sensors de llum, vaig cometre una errada i em vaig veure obligat a dessoldar unes pistes per fer la connexió correcta.

La placa de potència presentava un problema logístic en la connexió de les potes d'activació del xip (Enables). Si connectava el jumper inicial (només una posició) a 5V hi havia el risc de sobrecarregar el mòdul XBEE, que funciona amb només 3V, perquè no en permetia la desconexió. He pogut resoldre-ho col·locant un altre pin al costat del jumper selector en forma d'L, tot desfent el pont que hi havia per sota. D'aquesta manera, o es connecta l'Enable a 3V amb el mòdul XBEE o es connecta directament a 5V.



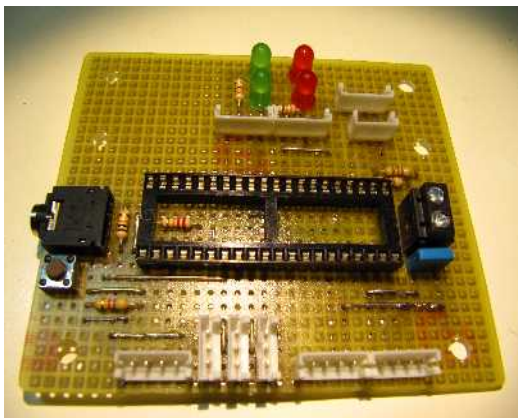
En començar a soldar la placa de control, el primer problema que vaig tenir va ser la mala qualitat de l'estany que estava utilitzant. Al principi vaig intentar canviar de soldador, per un de més potent, perquè l'estany no es fonia



del tot. Va ser aleshores quan vaig veure que els quadrats metàl·lics de la placa saltaven en escalfar-se massa, a part de quedar-hi un color molt fosc. La placa havia quedat molt malmesa i vaig decidir tornar a fer-la des de 0; ara, però, amb un estany de bona qualitat i el primer soldador utilitzat, menys potent.

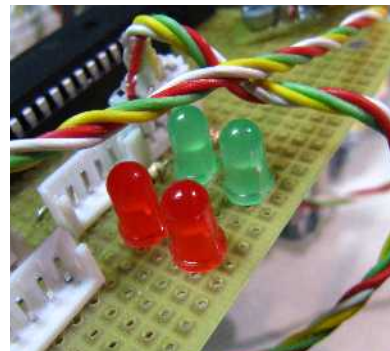
Quan estava soldant les pistes, vaig tenir molts problemes per fer uns ponts a l'altre costat de la placa perquè eren molt petits i no s'aguantaven al seu lloc, fent contacte amb la pista del costat. Canviant la distribució i la forma dels ponts vaig aconseguir soldar-los amb més facilitat al seu lloc.

Ja amb la placa força avançada, quan vaig començar a soldar els connectors blancs, vaig veure que ocupaven mig forat més per cada costat. Al disseny inicial els havia posat tots junts i, és clar, no podia acabar de muntar els



circuit. És per això que vaig modificar la distribució d'alguns connectors i les seves pistes: els tres connectors dels sensors de llum els vaig col·locar de costat per guanyar espai i poder pujar un forat el connector d'ampliació i el de la XBEE el vaig apartar cap a la dreta per poder separar la connexió de línies.

Després d'unes comprovacions de funcionament vaig detectar un error en una soldadura de la placa de control. El problema era que no s'encenia el LED verd del motor esquerre perquè havia fet la soldadura un forat abans, connectant directament la pota de la resistència amb l'altra pota del circuit.



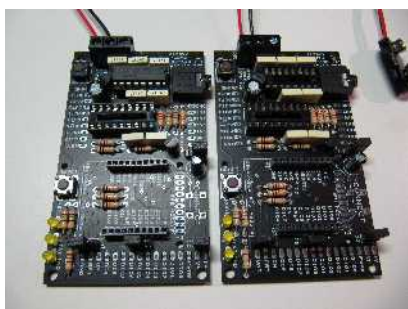
3.2. Objectiu inicial del projecte

El projecte original que volia haver fet era un robot multifuncional destinat a una exposició permanent al CosmoCaixa (o en un altre centre educatiu). El robot "viuria" en un entorn adaptat; es trobaria a sobre d'un tatami amb una ratlla negra que podria seguir en cas de detectar falta de bateria, hi hauria obstacles que el robot esquivaria, un sistema de llums que el robot seguiria i un ordinador extern per controlar els modes i el propi robot.

Vaig escollir el Poliestirè Vidre de 5 mm com a xassís perquè era molt lleuger, rígid, resistent i transparent; aquesta última característica millora molt l'estètica del robot perquè permet veure totes les seves parts sense cap tipus de problema. El disseny del xassís que vaig fer crec que és molt adient per a l'objectiu real del projecte: les rodes (part força delicada) queden protegides de topades amb obstacles, el frontal aixecat permet la subjecció del sensor de distància ultrasònic i dels finals de cursa es poden fixar directament al xassís, de manera que si el robot xoca, és la pròpia estructura que aguantarà l'impacte. Vaig decidir utilitzar una roda boja metàl·lica i amb rodaments perquè és més resistent i no causa tant fregament en girar i rotar com una de tipus cadira de despatx.



El robot tindria més funcions i es podria controlar íntegrament des de l'ordinador a través d'una interfície gràfica en format PHP (llenguatge de programació de pàgines web, com per exemple Facebook) i a través de les plaques de connexió i el mòdul XBEE que, a hores d'ara, està inactiu. Les modalitats proposades eren: seguir llum, evitar xocar amb obstacles, recular en



cas de col·lisió, encendre llums LED en cas de falta d'il·luminació, control remot mitjançant interfície a l'ordinador, canvi de modalitat, seguir línies i detecció de bateria baixa i canvi automàtic de mode a línies per trobar la base de càrrega.

3.3. Valoració personal

Fer un robot des de zero és una experiència molt intensa. M'he vist obligat a buscar solucions a problemes que mai m'havia plantejat. També he après que quan es treballa amb materials de mala qualitat, tens molts problemes que es podrien haver evitat des d'un bon començament.

El fet de no haver acabat el robot encara i que, després del que he treballat, no he aconseguit arribar a l'objectiu primari em fa pensar sobre la vida. Molt poques persones assoleixen les seves metes, i la majoria d'aquestes amb grans esforços.

Ara el meu nou objectiu és el mateix d'abans, però amb la diferència que ara vull acabar el robot perquè jo mateix ho vull i perquè tot aquest món de la robòtica, la informàtica i la programació m'apassiona.

El robot, tot i que no està acabat i encara no he tingut la sort de veure'l funcionar, té un aspecte fabulós. Seguiré treballant al màxim fins al dia de l'exposició per poder mostrar algun dels seus modes.

Durant tot aquest temps he après moltes coses noves, m'he esforçat per trobar allò que necessitava, he tingut molts maldecaps amb contratemps i problemes que m'han sorgit del lloc menys esperat, m'he passat hores i hores pensant en una solució fins que l'he trobada per casualitat mentre estava fent altres coses i, finalment, he gaudit molt amb la construcció d'un robot propi, totalment dissenyat per mi. Fins ara només he pogut fer alguna prova, però estic molt content quan veig que s'il·lumina un LED quan carregues un programa al PICAXE i acciones un final de cursa.

3.4. Possibles millores

Primer de tot modificaria el sensor de xocs de tal manera que tot el frontal del robot sigui sensible a les topades. Tal i com està ara, les llengüetes no arriben fins als costats i la zona del sensor d'ultrasons queda desprotegit de cantonades o objectes prims. El més senzill seria posar el sensor d'ultrasons



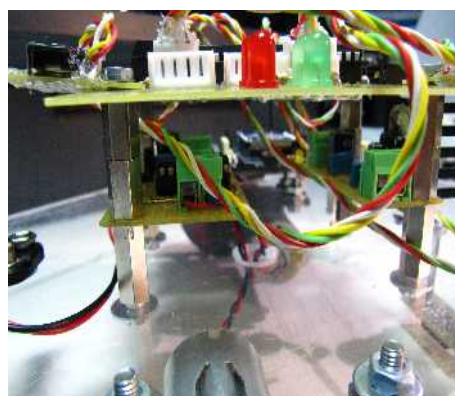
més amunt i, així, poder unir les dues llengüetes dels finals de cursa amb una làmina metàl·lica que cobris el frontal a mode de para-xocs.

Una altra millora seria la relacionada amb la fixació dels sensors de distància IR i els de llum, que ara he hagut de subjectar els primers amb



termoencoladora al xassís i collar els segons amb els mateixos cargols que agafen la placa de control, respectivament.

El problema d'haver de treure la placa de control cada cop que es vol connectar un cable a les plaques de regulació o potència és una mica molest. Es podria modificar el disseny d'aquestes últimes de manera que les connexions amb regleta i els connectors d'aquestes plaques estiguessin accessibles sense haver de desmuntar la placa de control.



4. Bibliografia

4.1. Llibres

- Jordi Orts: “*Microcontroladors PICAXE: Electrònica didàctica al segle XXI*”.

4.2. Pàgines web

- www.jorts.net
- www.picaxe.es
- www.diotronic.com
- www.ondaradio.es
- www.serveiestacio.com
- www.rev-ed.co.uk/picaxe
- www.superrobotica.com
- www.x-robotic.com
- www.robotot.org
- www.conrad-international.com

4.3. Datasheets

- Axe210_XBEE.pdf (placa connexió XBEE)
- AXE027.pdf (cable connexió dades USB)
- AXE092_DATASHEET.pdf (placa d'educació del PICAXE08-M)
- cny70.pdf (sensor de línies)
- CNY70_DATASHEET.pdf (sensor de línies)
- DATASHEET_cny70.pdf (sensor de línies)
- Curso_Picaxe.pdf (PICAXE)
- DATASHEET-Sensor LlumVoltatge.pdf
- DATASHEET-Sensor Magnètic digital.pdf
- DATASHEET-Sensor Magnètic lineal.pdf
- ICO030_DATASHEET.pdf
- manual de PHP.pdf (PHP)

- mpdesxxi1ed.pdf (PICAXE)
- pad001.pdf
- picaxe_manual1.pdf (PICAXE)
- picaxe_manual2.pdf (PICAXE)
- SRF005_DATASHEET.pdf (mesurador distàncies ultrasònic)
- XBE001_DATASHEET.pdf (mòdul comunicació)

4.4. Programes utilitzats

- Eagle -Disseny dels circuits-
- Crocodile Clips -Simulació de circuits (sensors)- (Windows)
- LinAXEpad -Programació PICAXE- (Ubuntu)
- PICAXE Programing Editor -Programador PICAXE- (Windows)
- SketchUp -Disseny gràfic 3D- (Windows)
- QEMU -Màquina virtual amb Windows XP (per utilitzar els programes que només estan a Windows)- (Ubuntu)
- Easy PHP -Paquet de programes per a la utilització del llenguatge PHP- (Windows)
- php5-mysql -Paquet PHP per a Ubuntu-

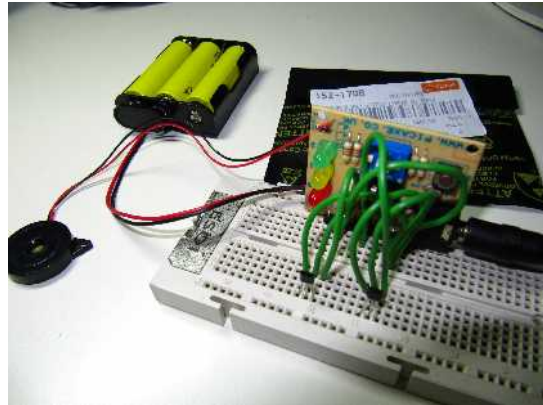
5. Annex

5.1. Muntatges de prova

Abans de començar a muntar el robot vaig realitzar algunes proves amb sensors. Els dos primers, els magnètics i els de llum-voltatge, no van superar les meves expectatives i els vaig descartar:

- Sensor magnètic:

El volia haver utilitzat per fer tornar el robot a la base de càrrega quan s'estès quedant sense bateria però no responia bé i el seu comportament davant diversos camps magnètics i metalls no era regular. Hi havia de



dos tipus, un de resposta digital i un altre lineal (analògic). Cap dels dos donava resultats útils. A continuació hi ha el programa utilitzat per fer les proves amb els sensors lineals:

```
main:
```

```
label_10:
```

```
label_20: if pin3=0 then label_20
```

```
sertxd ("Sensors magnetics lineals",13,10)
```

```
for b0=0 to 255
```

```
readadc 1,b1
```

```
readadc 4,b2
```

```
sertxd (#b0,"",#b1,"",#b2,13,10)
```

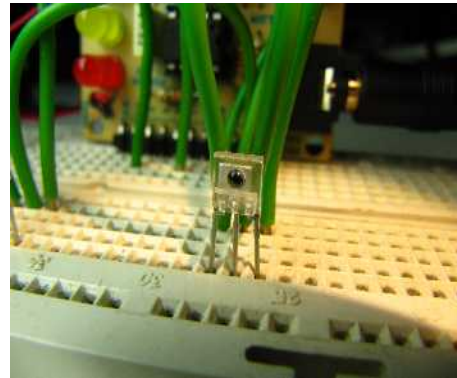
```
pause 500
```

```
next b0
```

```
goto label_10
```


- Sensor de llum:

Aquest sensor hauria estat el substitut de les LDRs en el meu robot si no hagués sigut tant sensible. Amb l'habitació pràcticament a les fosques ja marcava quasi saturació. Aquest hauria sigut un problema molt greu si al final arriba a una exposició d'un museu, on hi ha molta il·luminació per tot arreu.



main:

```
label_10:
label_20: if pin3=0 then label_20
sertxd ("Sensors llum-voltatge",13,10)
for b0=0 to 255
readadc 1,b1
readadc 4,b2
sertxd (#b0,",",#b1,",",#b2,13,10)
pause 500
next b0
goto label_10
```

- Mesurador de distàncies ultrasònic:

En unes proves que vaig fer amb un 08-M, els resultats eren tan precisos que fins i tot utilitzant un regle, coincidien en una diferència de mil·límetres.

El programa per fer la mesura i la posterior recollida de dades és el següent:



```
symbol trig = 1 ; Define pin for Trigger & Echo (08, 08M)
symbol range = w1 ; 16 bit word variable for range
```

```
main:
```

```
  pulsout trig,2
```

```
  pulsln trig,1,range ; measures the range in 10uS steps
```

```
  let range = range * 10 / 58 ; multiply by 10 then divide by 58
```

```
  debug range
```

```
  pause 200 ; short delay
```

```
  goto main ; and around forever
```

- Programa de xocs:

El robot detecta que ha xocat amb algun objecte, retrocedeix, gira una mica i segueix endavant.

start:

```
low 0, 1, 2
low portc 1
low portc 2
wait 5
```

inici:

```
low 0, 1
if pin2 = 1 then esquerra
if pin3 = 1 then dreta
high portc 1
high portc 2
goto inici
```

esquerra:

```
low portc 1
low portc 2
pause 500
high 0, 1
pause 1000
low 0, 1
pause 500
high portc 1
high 0
pause 1000
low portc 1
low 0
pause 500
goto inici
```

dreta:

```
low portc 1
low portc 2
pause 500
high 0, 1
pause 1000
low 0, 1
pause 500
high portc 2
high 1
pause 1000
low portc 2
low 1
pause 500
goto inici
```

- Programa seguir llum:

El robot segueix fonts lluminoses. Es dirigeix cap a indrets més il·luminats.

```
start:
    low 0, 1, 2
    low portc 1
    low portc 2
    wait 5

inici:
    low 0
    low 1

    readadc 5,b5
    readadc 6,b6
    readadc 7,b7
    ;if b7 > b5 and b7 > b6 then volta
    if b5 = b6 then recte
    if b5 > b6 then right
    if b5 < b6 then left

recte:
    high portc 1
    high portc 2
    goto inici

right:
    low portc 1
    high portc 2
    goto inici

left:
    low portc 2
    high portc 1
    goto inici

volta:
    low portc 1
    low portc 2
    pause 300
    high portc 1
    high 0
    pause 2000
    goto inici
```

- Programa evitar col·lisions (Ultrasons):

Amb aquest programa, el robot és capaç de desviar-se abans de topar amb un objecte. Si es troba amb l'objecte massa a prop i de sobte (no l'ha "vist" abans), s'atura i gira per evitar el xoc. Aquest programa només funciona amb el PICAXE-40X2, el qual es pot fer servir en la mateixa placa de control.

```

start:
    low 0, 1, 2
    low portc 1
    low portc 2
    wait 5
    ;symbol trig = 2 ;Define output pin for Trigger pulse (A, M, X, X1 parts)
    symbol range = w1 ;16 bit word variable for range
    ;symbol echo = ;Define input pin for Echo pulse (A, M, X, X1 parts)

inici:
    pulsout 2, 2 ;produce 20uS trigger pulse (must be minimum of 10uS)
    pulsln porta input 1, 1, range ;measures the range in 10uS steps
    pause 20 ;recharge period after ranging completes
    ;now convert range to cm (divide by 5.8) or inches (divide by 14.8)
    ;as picaxe cannot use 5.8, multiply by 10 then divide by 58 instead
    let range = range * 10 / 58 ;multiply by 10 then divide by 58
    debug range ;display range via debug command
    if range < 10 then evita
    if range < 30 and range > 10 then desvia
    high portc 1
    high portc 2
    goto inici

desvia:
    low 0, 1
    low portc 2
    high portc 1
    pause 1000
    goto inici

evita:
    low 0, 1
    low portc 0
    low portc 1
    pause 500
    high 1
    high portc 2
    pause 2000
    low 0, 1
    low portc 2
    low portc 1
    pause 500
    goto inici

```

- Altres programes:

Després de fer cada mode per separat, és molt fàcil fusionar funcionalitats del robot ajuntant els programes de tal forma que les variables quedin juntes i els estats consecutius.

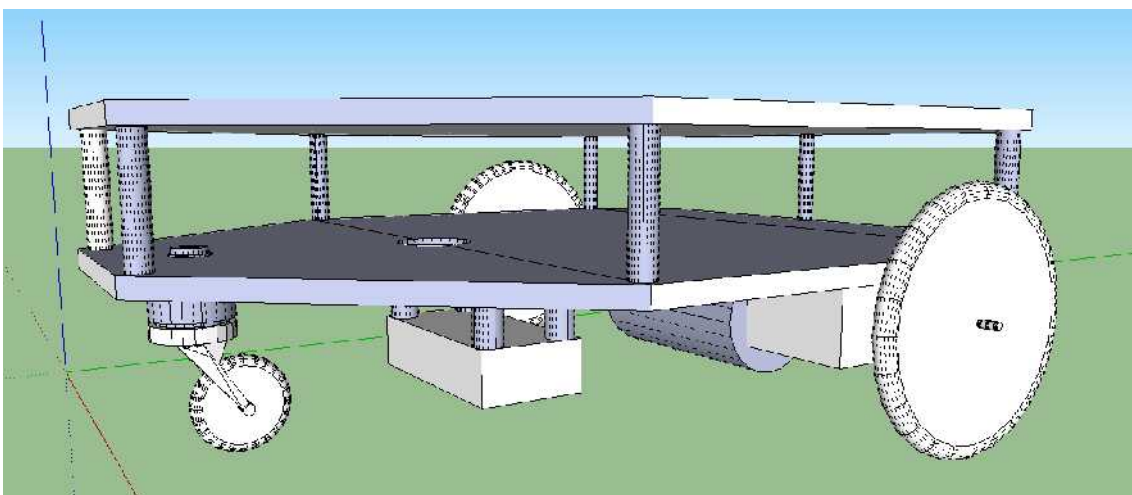
Els programes que he aconseguit ajuntar són el de seguir llum amb el de xocs i el d'evitar objectes (Ultrasons) amb el de xocs.

5.2. Documents diversos

PICAXE-40X1

Reset	1	40	Output 7
ULPWU / ADC 0 / In a0	2	39	Output 6
ADC 1 / In a1	3	38	Output 5
ADC 2 / In a2	4	37	Output 4
ADC 3 / In a3	5	36	Output 3
Serial In	6	35	Output 2
Serial Out	7	34	Output 1
ADC 5	8	33	Output 0
ADC 6	9	32	+V
ADC 7	10	31	0V
+V	11	30	Input 7 / kb data
0V	12	29	Input 6 / kb clk
Resonator	13	28	Input 5
Resonator	14	27	Input 4
timer clk / Out c0 / In c0	15	26	In c7 / Out c7 / hserin
pwm 1 / Out c1 / In c1	16	25	In c6 / Out c6 / hserout
pwm 2 / Out c2 / In c2	17	24	In c5 / Out c5 / spi sdo
i2c scl / spi sck / Out c3 / In c3	18	23	In c4 / Out c4 / i2c sda / spi sdi
Input 0	19	22	Input 3
Input 1	20	21	Input 2

Pinout del PICAXE 40X-1

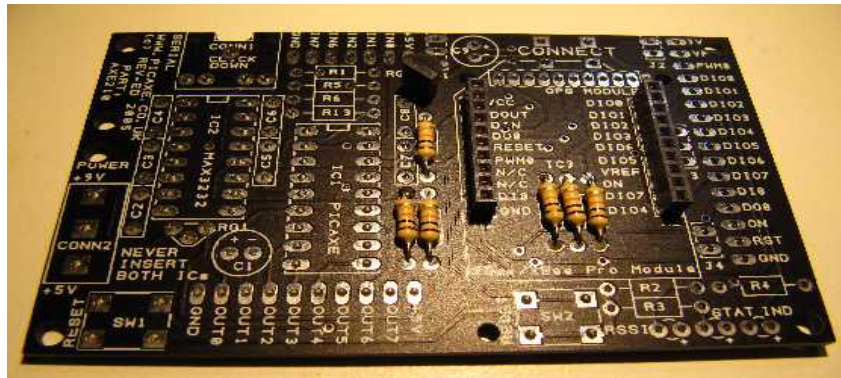


Disseny inicial de com seria el robot. (fet amb SketchUp)

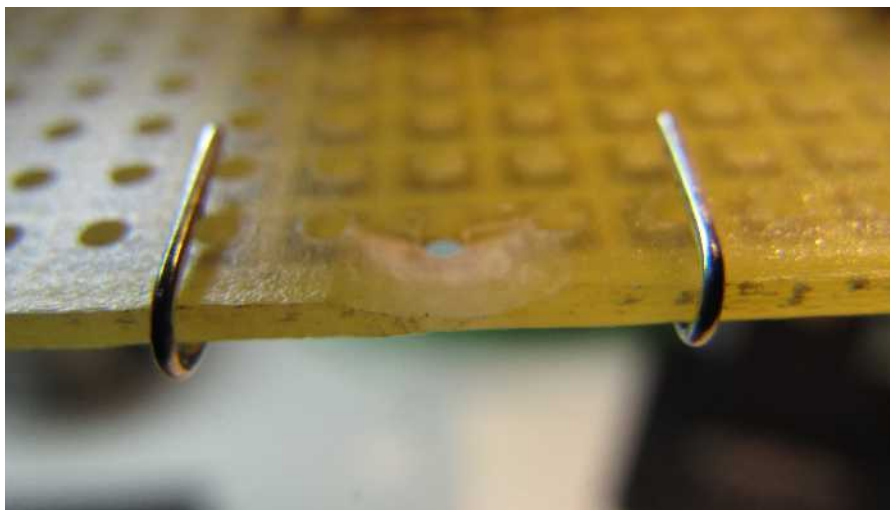
Sensors que podrien haver anat a parar al robot (algun si que hi és, el d'ultrasons) i altres pàgines d'informació de components relacionats amb la robòtica:

Sensors	Pàgines web
Mesura distàncies amb infraroig	http://www.terra.es/personal/fremiro/Archivos/GP2d12%20.PDF
Sensor temperatura a distància	http://www.bricogeek.com/shop/199-sensor-de-temperatura-mlx90614.html
Sensors de diversos tipus	http://www.bricogeek.com/shop/23-sensores
Sensor inclinació	http://www.superrobotica.com/S320165.htm
Càmeres de diversos tipus	http://www.superrobotica.com/camaras.htm
Brúixola digital	http://www.superrobotica.com/S320160.htm
Sensor d'impactes i acceleració lineal	http://www.superrobotica.com/S320155.htm
Sensors GPS, inclinació, distància, presència, etc.	http://www.superrobotica.com/Sensores.htm
Càmera espia superpetita	http://www.superrobotica.com/S130347.htm
Pàgina del moodle	http://iespviana.xtec.cat/moodle/mod/resource/view.php?id=393
Pàgina molt completa de robòtica (amb PICAXE)	http://www.electronicaestudio.com/index.htm
SRF04 SENSOR DISTANCIAS POR ULTRASONIDOS SRF04 S320110	http://www.superrobotica.com/S320110.htm
SRF05 SENSOR DISTANCIAS ULTRASONIDOS SIMPLE	http://www.superrobotica.com/S320111.htm

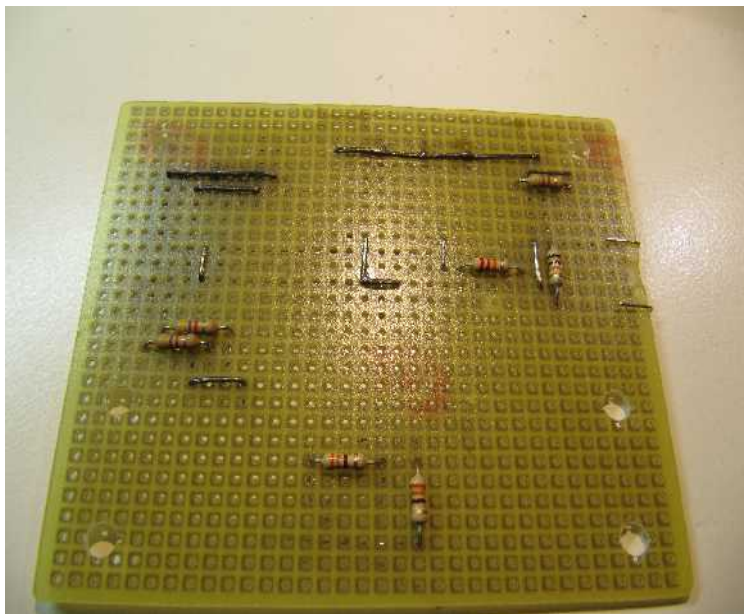
5.3. Fotografies del procés



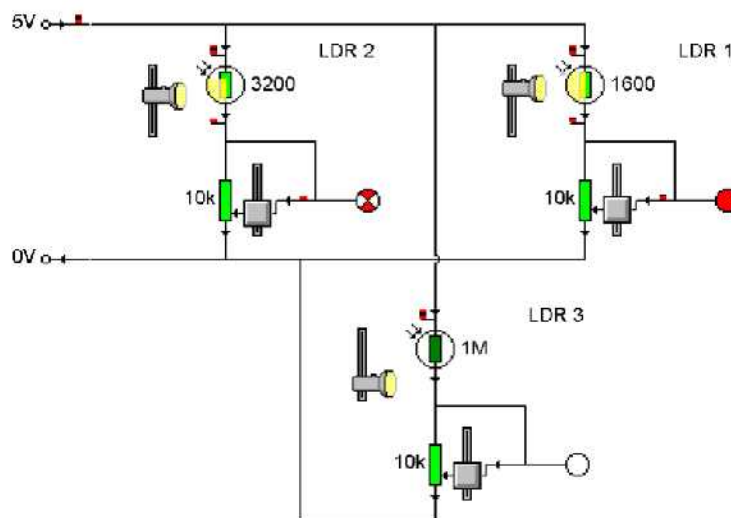
Muntatge de la placa de comunicació. Els sòcols soldats a la part dreta són els que es connecten al mòdul XBEE.



Per col·locar el connector Jack Estereo de 3,5mm vaig haver de llimar una mica la placa i deixar espai per a l'acoblament total del component als forats.



Placa de control amb les resistències soldades i alguns ponts.



Simulació del circuit de seguiment de llum. Cada conjunt és una placa amb la LDR i el potenciòmetre regulable.

Finalment, aquí es veu el robot completament muntat. Falta acabar el seguidor de línies que, com es pot comprovar a la primera imatge, no té cap cable soldat a les potes dels sensors. També falten les bateries (en aquest cas, piles de 9V). Més endavant ja adaptaré una connexió per poder-hi acoblar una bateria amb més capacitat.

