

WaiterBot

o

Robot Cambrer

Microbòtica



Alexandre Trilla Castelló
Batxillerat Tecnològic
Col·legi Episcopal Mare de Déu de l'Acadèmia (Lleida)

1.0 INTRODUCCIÓ

Els microbots són petites construccions de robots de la mida d'una maqueta dotats d'una certa "intel·ligència" la qual els permet desenvolupar-se en un medi i dur a terme determinades i concretes funcions o activitats. Sovint es sol parlar de petites construccions i dissenys mecatrònics, és a dir, que combinen dues grans matèries o ciències més grans: la mecànica i la electrònica.

La construcció i desenvolupament d'un microbot requereix per part del seu dissenyador i constructor un cert nivell de coneixements tècnics de les dues matèries anteriors, així que pugui desenvolupar amb èxit tots es seus projectes. No existeix el límit de complexitat d'un microbot, tot depèn del seu dissenyador. De manera que a la vida real es poden trobar microbots de moltes categories, els més complexos, generalment, ja pertanyen a una empresa i són destinats a projectes de caire mot més important, com per exemple, el bastant recent microbot que la NASA envià a Mart per recollir informació del planeta i enviar-la de nou a la Terra.

La microbòtica és una activitat que a nivell d'usuari amateur és completament lúdica i consisteix en reproduir, amb diferents graus de fidelitat, altres màquines més grans, o de dissenyar prototips de futures màquines a partir dels resultats que se'n puguin obtenir. A part d'entretenir el seu propi dissenyador, també aplega tot un grup de persones interessades per la matèria, creant així associacions per tal de comparar els seus productes de microbots entre ells i intercanviar informació sobre els mateixos, organitzant així competicions i torneigs a fi de posar-los a prova competint amb els microbots dels seus rivals. Tot depèn de l'associació on s'estigui, però generalment existeixen tres proves bàsiques en totes les competicions: la prova de rastreig, en la que els microbots han de seguir una línia a terra sense desviar-se i acabar un recorregut amb el menor temps possible; la prova de neteja, en la qual els microbots són preparats per netejar tota una superfície amb el mínim de temps; i la prova de lluitadors de sumo, on els microbots són preparats per lluitar entre ells a fi de treure el rival fora d'uns límits preestablerts. A més d'aquestes tres proves bàsiques, també s'hi acostuma a introduir una prova lliure, on els robots més enginyosos han de dur a terme una operació determinada; en aquesta prova el robot més singular i original s'emporta el primer premi.

1.1 MOTIVACIÓ, OBJECTIUS I HIPÒTESI

Davant el fet que trobo la microbòtica una activitat especialment atractiva, útil i lucrativa, em dispo a dur a terme una investigació sobre els microbots així que n'obtingui tota la informació i els coneixements necessaris per arribar a construir un nou microbot dissenyat per jo mateix.

El meu primer contacte amb els microbots va ser a través d'un crèdit variable que vaig cursar a la E.S.O. però en el qual no vaig tenir la ocasió d'entendre amb profunditat el propi funcionament dels microbots. Així que vaig pensar que amb aquest treball de recerca tenia una oportunitat magnífica per endinsar-me en el món del modelisme dels robots a fi d'entendre'ls i poder-ne dissenyar i construir un pel meu compte, posant-me a prova d'aquesta manera, i així comprovar que realment tota la matèria que pugui tractar i descobrir és viable i funciona a la realitat.

De manera que en aquest projecte no existeix una hipòtesi clarament definida, sinó que més aviat es tracta d'un repte personal el qual ha de provar-se positiu per tenir èxit en la tasca. Si s'hagués de plantejar en forma d'hipòtesi es podria anunciar de la manera següent:

A partir d'un coneixement pràcticament nul sobre la microbòtica, jo sóc capaç de dur a terme tota una investigació sobre els microbots a fi d'entendre el seu funcionament, i a més, també puc aplicar tots els coneixements apresos en la construcció d'un nou microbot inventat, dissenyat i construït per jo mateix.

L'objectiu d'aquest treball és donar tota una gamma d'informació mot àmplia dels microbots, començant des d'un nivell de total inexperiència, fins a arribar a ensenyar tots es coneixements necessaris pel disseny d'un nou microbot, el WaiterBot o Robot Cambrer, en el cas d'aquest projecte. Aquest serà un microbot teledirigit, com si es tractés d'un cotxe radiocontrolat de joguina, el qual al damunt durà una plata suportada per quatre barres. La seva funció serà la d'anar-se movent segons la informació rebuda des d'un "joystick" corrent d'ordinador sobre qualsevol superfície, detectant qualsevol inclinació de la mateixa, i gràcies al moviment de les barres que suporten la plata pugui compensar el desnivell a fi de mantenir sempre la plata horitzontal. Aquesta idea em vingué a través d'un programa de televisió, el "¡Qué apostamos!" de la Primera. Un dia hi vaig veure com un senyor, gràcies a la seva

habilitat, conduïa un vehicle teledirigit amb una plata a través d'una petita muntanya i ell accionava uns cilindres de manera que compensés l'angle d'inclinació i pugés dur un còctel sense vessar-ne una gota. Llavors vaig pensar en un procés automatitzat que ho fes automàticament i el vaig decidir aplicar en un microbot.

Aquest projecte, a més, està molt relacionat amb els estudis posteriors que espero cursar d'aquí a no molt temps, enginyeria de telecomunicacions, ja que inclou tota una part d'electrònica, fonamental en els estudis, i una part, aquesta última no tant principal en el projecte, la de radiocomunicacions, però que és purament característica de l'especialitat.

Per tant, aquest projecte es basa fonamentalment en l'estudi electrònic dels microbots. Primer s'explica tota la teoria referent als microbots, constituent del primer bloc del projecte, i seguidament la part pràctica, és a dir, la construcció del microbot.

2.0 EL CERVELL DEL MICROBOT: PIC 16F84

2.1 INTRODUCCIÓ

Un microcontrolador és un computador complet, tot i que de limitades prestacions, que es troba contingut en el xip d'un circuit integrat i que es destina a governar una sola tasca, és a dir, una cop programat, només s'encarregarà de dur a terme la tasca encomanada.

Avui en dia els microcontroladors cada vegada són més utilitzats. Les comunicacions i els productes de consum general absorbeixen més de la meitat de la seva producció, i la resta es distribueix entre el sector de l'automoció, els computadores i la indústria.

És convenient no confondre un microprocessador amb un microcontrolador. Tots dos contenen un element anomenat UCP (Unitat Central de Procés) el qual conté la Unitat de Control que interpreta les instruccions, i el Camí de Dades, que les executa. Un microprocessador és un sistema obert, és a dir, que la seva configuració és variable d'acord amb l'aplicació a la qual se'l destini, i amb el que es pot construir un computador amb les característiques que es desitgin, acoblant-li els mòduls necessaris. Un microcontrolador, pel contrari, és un sistema tancat, és dir, que ja conté un computador complet les prestacions del qual, tot i ser limitades, no es poden modificar.

El microxip contingut a l'interior del microcontrolador es comunica amb l'exterior per mitjà de les potetes, o més tècnicament parlant, les portes E/S (entrada/sortida), ja que depenent de la programació de xip tant poden funcionar com a entrades d'informació procedent d'un sensor, com de sortides cap a un actuator. A part, el microcontrolador també necessita unes altres potetes les quals li permeten funcionar.

Existeixen una gran varietat de microcontroladors al mercat per poder satisfer les necessitats de cada usuari. Cada fabricant modifica les propietats de cada microcontrolador (capacitat de les memòries, número de portes E/S, potència dels elements auxiliars, velocitat de funcionament, etc.) de manera que oferta a la societat tot un ventall de microcontroladors.

Pels microbots, el microcontrolador és com el cervell de les persones, és el seu punt intel·ligent. La vasta majoria de microbots disposen d'un component d'aquests per poder dur a terme les tasques assignades. Donada la seva importància, s'ha cregut convenient d'exposar el microcontrolador utilitzat en aquest projecte en primer lloc així que el lector ja pugui intuir el futur sistema de funcionament del WaiterBot.

En aquest treball l'objectiu no és formar el lector acuradament sobre l'arquitectura completa i la programació específica del microcontrolador, sinó que es prefereix donar-li només unes nocions bàsiques sobre el seu funcionament, a fi de fer el seu aprenentatge més fàcil i senzill, i el mètode que es segueix per fer-ho és el d'exposar-li l'arquitectura bàsica explicant-li la utilitat de cada part que s'exposi, i més endavant, que el propi lector vegi aplicats tots els conceptes tractats anteriorment en un programa concret aplicat.

2.2 CARACTERÍSTIQUES GENERALS

El microcontrolador escollit és el PIC16F84 de Microchip per la seva senzillesa d'utilització, facilitat d'utilització i cost reduït. Aquest microcontrolador forma part de la gamma mitja de la família de PICs de Microchip. Les característiques següents es donen com a dades del microcontrolador. Alguns aspectes encara no s'han vist però al llarg de l'exposició del PIC s'aniran tractant i explicant.

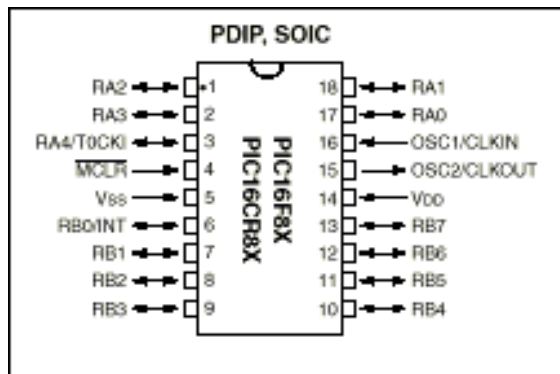
- Memòria de programa d' 1K x 14 de tipus FLASH.
- Memòria de dades EEPROM de 64 bytes.
- Memòria RAM de propòsit general de 68 bytes.
- 13 línies E/S amb control individual de direcció.
- Freqüència màxima de funcionament de 10 MHz.
- Quatre fonts d'interrupció:
 - a) Activació de la porta RB0/INT.
 - b) Desbordament del TMR0.
 - c) Canvi d'estat d'alguna porta RB4-RB7.
 - d) Fi d'escriptura de la EEPROM de dades.
- Temporitzador/Comptador programable de 8 bits.
- Gos guardià.
- Encapsulat de plàstic DIP de 18 potetes.

2.3 DIAGRAMA DE CONNEXIONS

OSC1/CLKIN: Connexió amb el cristall de quars.

OSC/CLKOUT: Connexió amb el cristall de quars.

(Amb el cristall de quars es regula la freqüència de funcionament del microcontrolador)



MCLR: Suporta la petició de Reset.

RA0-RA3: Línies E/S de la Porta A.

RA4/T0CKI: Línia E/S de la Porta A o entrada d'impulsos exteriors de rellotge pel TMR0.

RB0/INT: Línia E/S de la Porta B o petició d'interrupció exterior.

RB1-RB7: Línies E/S de la Porta B.

2.4 EL PROCESSADOR

Avui en dia, les arquitectures o estructures internes del tipus Harvard, RISC i la segmentació han substituït l'arquitectura clàssica de von Neumann la qual connectava la UCP amb una única memòria on coexistien les dades i les instruccions. Però actualment la eficiència les microcontroladors s'ha implementat gràcies a les tres arquitectures anomenades al principi.

En l'arquitectura Harvard la memòria d'instruccions i la de dades són independents i cadascuna disposa del seu propi sistema de bussos d'accés, cosa que permet optimitzar les seves característiques i proporcionar paral·lelisme en el funcionament de les operacions. L'arquitectura del tipus RISC, utilitzada per la majoria de nous microcontroladors, utilitza un repertori d'instruccions màquina petit i simple, basat en "pnemònics" o paraules clau curtes i fàcils de recordar, la qual cosa li permet executar la majoria de les instruccions en un cicle d'instrucció (tractat més endavant). I finalment, l'arquitectura coneguda com a segmentació consisteix en descompondre el processador en etapes per poder processar una instrucció diferent en cada una d'elles i treballar amb vàries a la vegada. El microcontrolador utilitzat en aquest projecte, el PIC16F84, presenta un processador del tipus RISC, segmentat i amb una arquitectura del tipus Harvard.

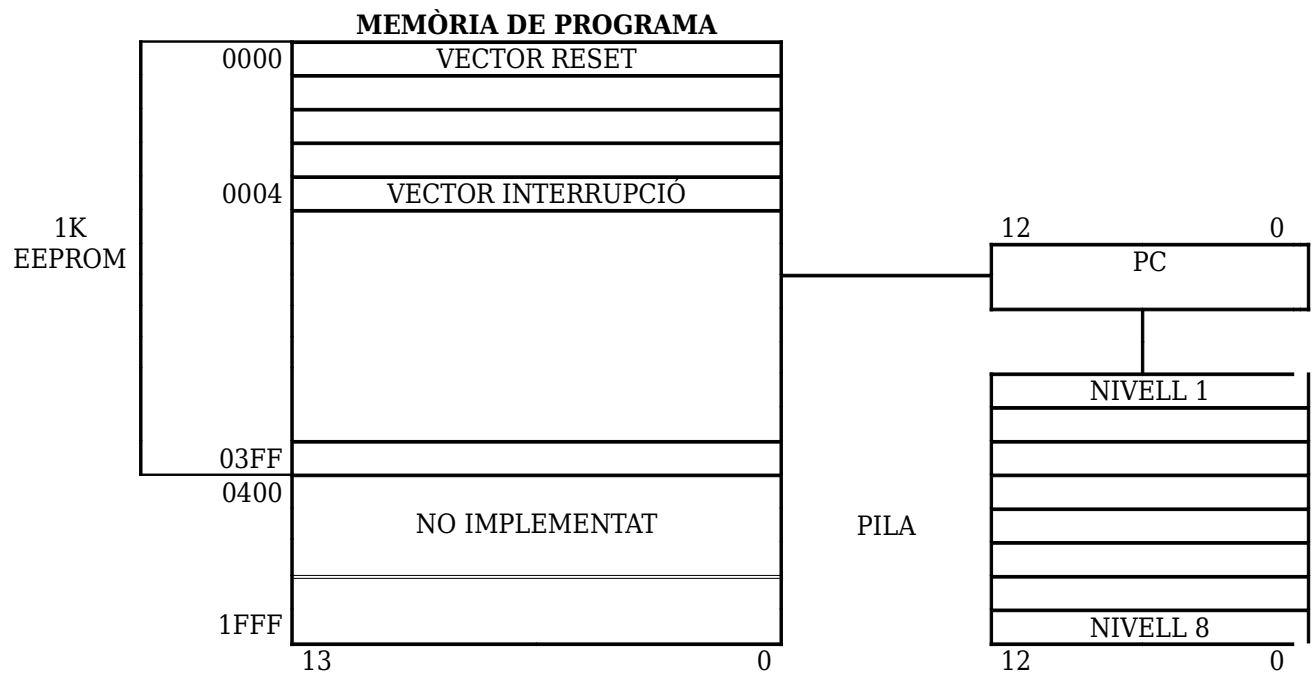
2.5 MEMÒRIA DE PROGRAMA

En aquesta memòria s'hi graven permanentment totes les instruccions del programa de control. N'hi ha de diferents tipus, però el PIC16F84 utilitzat en aquest projecte disposa de la de tipus FLASH, una memòria no volàtil la qual pot ser escrita i esborrada elèctricament mitjançant un aparell anomenat "gravador" (consisteix en una placa electrònica connectada a l'ordinador la qual permet transferir un programa prèviament escrit en un microcontrolador). Concretament admet uns 1.000 cicles d'escriptura/esborrada i la seva tecnologia és de les més avançades del moment, disposant d'una gran capacitat d'informació i tenint un baix consum.

Té implementada 1K (1024) de paraules de 14 bits cada una, ocupant les adreces compreses entre la 0x0000 i la 0x03FF (representat amb sistema hexadecimal). La Figura següent exposa la seva distribució:

	13	0		
0000	IMPLEMENTAT		ÚTIL	CAPACITAT MÀXIMA
03FF	NO IMPLEMENTAT			
1FFF	NO IMPLEMENTAT			
2000	ID		PARAULES IDENTIFICACIÓ	MEMÒRIA DE CONFIGURACIÓ
	ID			
	ID			
	ID			
	RESERVAT			
	RESERVAT			
	RESERVAT			
2007	P. CONFIG.			
	RESERVAT			
200F	NO IMPLEMENTAT			
3FFF	NO IMPLEMENTAT			

Si ara s'amplia la part de Capacitat Màxima de l'esquema anterior és necessari introduir dos nous conceptes: el Comptador de Programa i la Pila.



El Comptador de Programa (PC) s'encarrega de donar pas a les interrupcions perquè s'executin, és a dir, es va incrementant, i a mesura que ho fa, el programa segueix el seu curs ja que també s'incrementen les posicions de memòria a les quals fa referència. Com que el PIC16F84 només disposa d'1K de memòria de programa, els tres bits de més del PC (12, 11, 10) són ignorats. Si necessités els tres bits de major pes significaria que el microcontrolador en qüestió disposaria de la totalitat de memòria de memòria disponible (8192 o 1FFF posicions).

Com tots els registres específics que controlen l'activitat del processador, el PC també està implementat en una posició de la memòria RAM. Quan s'escriu com a resultat d'una operació de la ALU (Unitat Logo-Aritmètica), el byte (8 bits) de menys pes del PC es col·loca al registre PCL, mentre que els bits de més pes ho fan als 5 bits de menys pes del registre PCLATH.

En les instruccions GOTO i CALL ("anar a" i "cridar a"), els 11 bits de menys pes es carreguen al PC des de les instruccions i permeten dirigir una pàgina de 2K de memòria, mentre que els bits restants, procedents de PCLATH, apunten a una pàgina del mapa de la memòria.

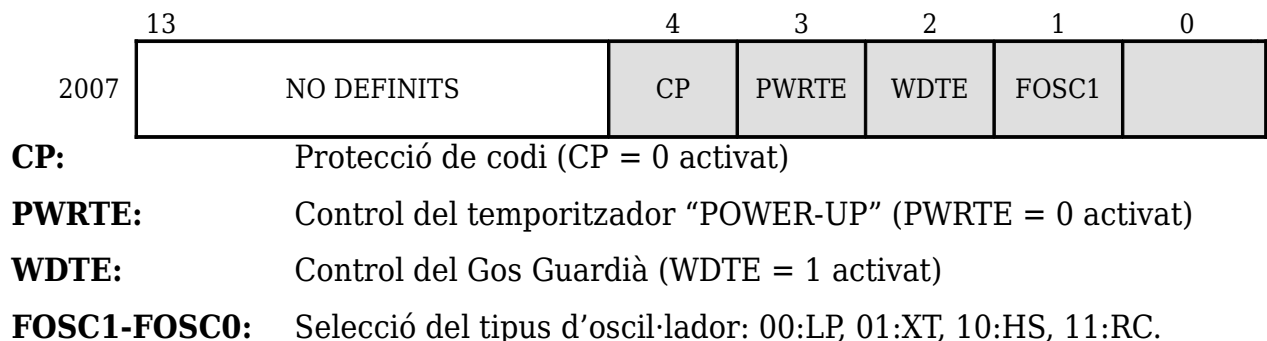
La Pila és una zona aïllada de les memòries. Té una estructura LIFO, l'últim valor guardat és el primer a sortir. Com es pot observar disposa de 8 nivells de profunditat amb 13 bits cadascun. Funciona de manera circular, és a dir, el valor obtingut a la novena desempilada és igual al primer. Les instruccions CALL i les interrupcions

originen la càrrega del PC al nivell superior de la Pila, el contingut del qual es treu amb les instruccions RETURN, RETLW i RETFIE. PCLATH no és afectat per la Pila en cap moment.

Com es pot observar, les posicions 0000 i 0004 queden reservades pels vectors de Reset i Interrupció, és a dir, cada vegada que es produeixi algun d'aquests dos fenòmens esmentats, el CP es carregarà amb les seves posicions respectives.

Les Paraules d'Identificació són 4 posicions de memòria no accessibles durant el funcionament normal del microcontrolador; només poden ser llegides i escrites durant el procés de gravació. Només s'utilitzen els 4 bits de menys pes de cada paraula ID, on s'hi acostuma a guardar un valor a l'arbitri del programador (número de sèrie, codi de seguretat, etc.).

La Paraula de Configuració és una posició de la memòria només accessible durant el procés de gravació on s'hi reflecteixen les característiques del microcontrolador. Només té 5 bits vàlids i els seus símbols i missions s'exposen a la figura següent:



El temporitzador POWER-UP endarrereix 72ms la posta en marxa o Reset que es produeix al connectar l'alimentació al PIC, a fi de garantir l'estabilitat de la tensió aplicada.

2.6 MEMÒRIA DE DADES RAM

Aquesta és una memòria de lectura i escriptura per guardar dades, per la qual cosa la memòria RAM estàtica (SRAM) és la més adequada, tot i ser volàtil, és a dir, que la informació emmagatzemada es perd si la corrent deixa de ser aplicada.

Per tal de simplificar l'adreçament de la memòria RAM i disminuir els bits de direcció, els seus dissenyadors l'han organitzat en 4 bancs de 128 posicions de 8 bits. El seu adreçament implica la selecció del banc i la seva posició relativa en ell. Però el microcontrolador utilitzat en aquest projecte no disposa de tal capacitat d'informació, sinó que només li han implementat, o sigui, preparat per poder ser gravades, les 80 primeres posicions de memòria dels dos primers bancs. La seva organització es troba reflexada en les dues figures següents:

ADR.	NOM	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
BANC 0									
00 h	INDF	Utilitza el contingut de FSR per dirigir la memòria.							
01 h	TMR0	Relloatge/comptador en temps real de 8 bits.							
02 h	PCL	Byte de menys pes del PC (comptador de programa).							
03 h	ESTAT	IRP	RP1	RP0	TO#	PD#	Z	DC	C
04 h	FSR	Adreçament indirecte amb INDF.							
05 h	PORTA A	-	-	-	RA4/ T0CK	RA3	RA2	RA1	RA0
06 h	PORTA B	RB7	RB6	RB5	RB4	RB3	RB2	RB1	RB0/ INT
07 h		No implementat, es llegeix com a 0.							
08 h	EEDATA	Registre de dades de la EEPROM.							
09 h	EEADR	Registre d'adreces de la EEPROM.							
0A h	PCLATH	-	-	-	S'escriu als 5 bits de PCH.				
0B h	INTCON	GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF
BANC 1									
80 h	INDF	Utilitza el contingut de FSR per dirigir la memòria.							
81 h	OPTION	RBP #	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
82 h	PCL	Byte de menys pes del PC.							
83 h	ESTAT	IRP	RP1	RP0	TO#	PD#	Z	DC	C
84 h	FSR	Adreçament indirecte amb INDF.							
85 h	TRISA	-	-	-	Configuració de la Porta A.				
86 h	TRISB	Configuració de la Porta B.							
87 h		No implementat, es llegeix com a 0.							
88 h	EECON1	-	-	-	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD
89 h	EECON2	Registre de Control EEPROM.							
0A h	PCLATH	-	-	-	Configuració de la Porta A.				
0B h	INTCON	GIE	EEIE	T0IE	INTE	RBIE	T0IF	INTF	RBIF

	BANC 0	BANC 1	
0x00	INDF	INDF	SFR
	TMR0	OPTION	
	PCL	PCL	
	ESTAT	ESTAT	
	FSR	FSR	
	PORTA A	TRIS A	
	PORTA B	TRIS B	
	EEDATA	EECON1	
	EEADR	EECON2	
	PCLATH	PCLATH	
0x0B	INTCON	INTCON	
		ADRECES SUPERPOSADES SOBRE EL BANC 0	GPR
0x4F			
	NO IMPLEMENTATS	NO IMPLEMENTATS	
0x7F			
	7	0 7	0

Tots els registres compresos dins el marc de l'etiqueta SFR (Registres de Propòsit Específic) són els encarregats del control del processador i els seus recursos, mentre que els GPR (Registres de Propòsit General) són els que l'usuari utilitza al seu favor per acomplir les necessitats i objectius del microcontrolador.

2.7 MEMÒRIA DE DADES EEPROM

Les dades guardades en aquesta memòria no es perden al treure l'alimentació. Consta de 64 bytes que ocupen les adreces compreses entre la 0x00 i la 0x3F.

Per accedir a aquesta memòria en lectura o escriptura s'utilitzen els registres de control: EEDATA, EEADR, EECON1 i EECON2.

El procés d'escriptura d'una posició d'aquesta memòria és relativament lent, al voltant d'uns 10ms. Quan aquest procés es finalitza s'activa un assenyalador per comprovar que el procés s'ha acomplert amb èxit.

Aquesta memòria admet fins a 1.000.000 de cicles d'escriptura/esborrada i és capaç d'emmagatzemar la informació inalterada durant més de 40 anys.

2.8 PORTES E/S

A part de dues patilles (potetes) que reben corrent perquè el microcontrolador pugui funcionar, dues més que regulen la freqüència de funcionament i una més per provocar un Reset, les demés són utilitzades per suportar comunicacions en paral·lel amb els perifèrics. Segons la seva distribució donen lloc a un nombre determinat de Portes, en el cas del PIC16F84, dues: la A i la B.

Cada Porta és constituïda per un nombre de línies o portes independents, les quals, en el cas del PIC16F84, són construïdes amb la tecnologia TTL. Aquest tipus de tecnologia és bipolar, és a dir, que funciona amb transistors i treballa amb nivells de tensió de 5V.

2.8.1 Porta A

- Consta de 5 línies denominades RA4-RA0.
- RA3-RA0 actuen com a línies E/S digitals configurables de forma independent.
- RA4/T0CKI, a més de línia E/S, pot funcionar com a entrada dels impulsos exteriors de rellotge pel TMR0.
- Tots els bits del TRISA actuaran com a entrada si duen un 1, i ho faran com a sortida amb un 0.
- Al llegir una entrada es llegeix l'estat actual de la porta.
- Les línies de sortida estan "latxeades" (provenint de l'anglès "latch") i per tant mantenen l'últim valor que han tret.
- Després d'un Reset, totes les línies del TRISA es posen a 1 i per tant la Porta A queda configurada com a entrada.
- Cada línia de la Porta A pot subministrar un corrent màxim de 20mA i pot absorbir fins a 25mA.

2.8.2 Porta B

- Quan les línies de la Porta B es configuren com a entrades es possible acoblar-les a unes resistències "pull-up", posant a zero el bit 7 (RBPO#) del registre OPTION.
- La Porta B pot absorbir un corrent màxim de 150mA i subministrar un total de 100mA.
- RB0/INT també pot funcionar com a línia de petició d'interrupció externa.
- RB7-RB4 poden ser programades per suportar una missió especial quan funcionen com a entrades. Si canvia l'estat lògic d'alguna d'elles es produeix una interrupció.

· Per la gravació en sèrie del PIC s'utilitza la porta RB6 pels impulsos del rellotge i la RB7 per la entrada de dades.

2.9 PROGRAMACIÓ

El llenguatge que utilitzen els professionals i especialistes per la programació dels microcontroladors és l'Assemblador (amb el qual s'ha programat aquest projecte), el qual és un llenguatge en codi màquina o llenguatge de baix nivell. També els llenguatges d'alt nivell (Basic, C, etc.) s'empren en la programació de microcontroladors, tot i que no ofereixen tan bones prestacions. L'avantatge que té l'Assemblador respecte a qualsevol llenguatge d'alt nivell és que els programes resultants són molt més breus, precisos i eficients gràcies a la utilització de pneumònics anteriorment esmentats en la explicació de l'arquitectura de microcontrolador del tipus RISC, cosa interessant tenint en compte la reduïda memòria del microcontrolador. L'inconvenient que presenten és que donat el seu curt i concís repertori d'instruccions, es requereix la mà d'una persona més experta en el tema ja que els programes resultants són més complexos, cosa que no passa amb els llenguatges d'alt nivell, en els quals per una banda es guanya simplicitat en els programes però per l'altra es perd eficiència i rendiment.

2.10 REGISTRES DE CONTROL

2.10.1 Registre d'ESTAT

Els bits d'aquest registre tenen tres funcions ben definides:

- 1) S'encarreguen d'avisar les incidències del resultat de la ALU (C, DC, Z).
- 2) Indiquen l'estat del Reset (TO#, PD#).
- 3) Seleccionen el banc a accedir a la memòria de dades (IRP, RP0, RP1).

IRP	RP1	RP0	TO#	PD#	Z	DC	C
-----	-----	-----	-----	-----	---	----	---

C: Assenyalador de carretatge al vuitè bit.

1 = Carretatge a la suma i no a la resta.

0 = No carretatge a la suma i sí a la resta.

DC: Assenyalador de carretatge al 4rt bit de menys pes.

1 = Carretatge a la suma.
0 = No carretatge a la suma.
La resta funciona de manera contrària.

Z: Assenyalador de zero.

1 = El resultat d'una operació és zero.
0 = El resultat d'una operació és diferent a zero.

PD#: Power Down.

1 = Després de connectar VDD o executar "CLRWDT".
0 = Al executar la instrucció "SLEEP".

TO#: Timer Out.

1 = Després de connectar VDD o executar "CLRWDT" o "SLEEP".
0 = Al sobrepassar el temps del "WDT".

RP0: Selecció del banc per l'adreçament directe.

1 = Banc 1 (80-FFh).
0 = Banc 0 (00-7Fh).

RP1: Serviria, juntament amb RP0, per accedir als bancs 2 i 3, si el microcontrolador disposés de suficient memòria RAM.

IRP: Selecció dels bancs per l'adreçament indirecte.

0 = Bancs 0 i 1 (00-FFh).
1 = Bancs 2 i 3 (100-1FFh).

2.10.2 Registre OPTION

RBPO#	INTEDG	TOCS	TOSE	PSA	PS2	PS1	PS0
-------	--------	------	------	-----	-----	-----	-----

PS2:PS0 Ventall d'opcions amb el qual el divisor de freqüència actua.

PS2	PS1	PS0	Divisió del TMR0	Divisió del WDT
0	0	0	1:2	1:1
0	0	1	1:4	1:2

0	1	0	1:8	1:4
0	1	1	1:16	1:8
1	0	0	1:32	1:16
1	0	1	1:64	1:32
1	1	0	1:128	1:64
1	1	1	1:256	1:128

PSA: Assignació del Divisor de Freqüència.

1 = És assignat al WDT.

0 = És assignat al TMR0.

T0SE: Tipus de flanc a T0CKI.

1 = Increment del TMR0 per cada flanc descendent.

0 = Increment del TMR0 per cada flanc ascendent.

TOCS: Tipus de rellotge pel TMR0.

1 = Impulsos introduïts a través de T0CKI (comptador).

0 = Impulsos del rellotge intern Fosc/4 (temporitzador).

INTEDG: Flanc actiu interrupció externa.

1 = Flanc ascendant.

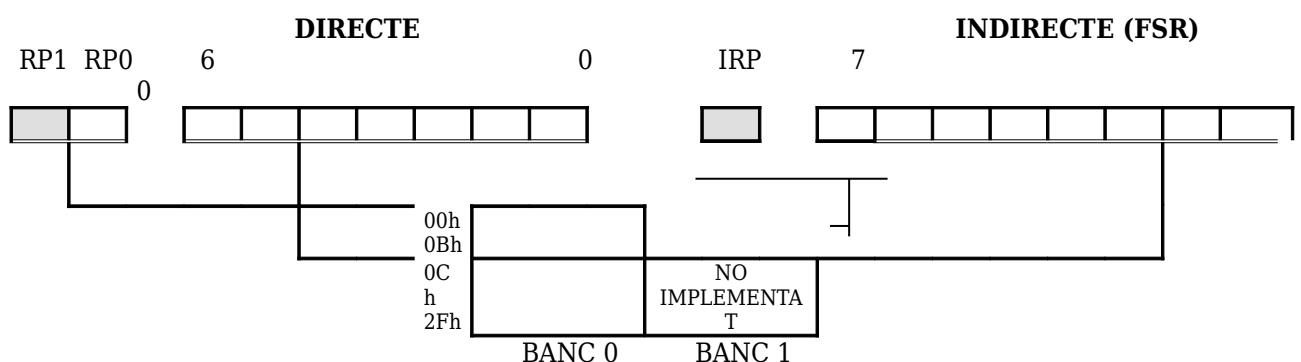
0 = Flanc descendant.

RBPO#: Resistències Pull-up Porta B.

1 = Desactivades.

0 = Activades.

2.10.3 Registre d'Adreçament Directe i Indirecte



DIRECTE

Els 7 bits de menys pes que formen el codi OP de la instrucció, seleccionen una d'entre les 80 posicions diferents de la memòria de dades. El bit RP0 selecciona el banc.

INDIRECTE

Si com a operador d'una instrucció s'accedeix al registre INDF (posició 0 de l'àrea de dades), s'accedeix realment a la posició en que en aquell moment apunti FSR. Els 7 bits de menys pes seleccionen la posició; el bit 7 de FSR juntament amb el bit IRP del registre Estat seleccionen el banc.

2.10.4 Registre de control EECON1 per a la EEPROM

-	-	-	EEIF	WRERR	WREN	WR	RD
---	---	---	------	-------	------	----	----

Bits 7-5: No implementats. Es llegeixen com 0.

EEIF: Assenyalador d'interruptió de l'operació d'escriptura.

1 = L'escriptura ha acabat.

0 = L'escriptura no ha acabat o no ha començat.

WRERR: Assenyalador d'error.

1 = L'escriptura ha acabat prematurament.

0 = L'escriptura s'ha completat.

WREN: Activació de l'escriptura.

1 = Permet escriure.

0 = Prohibeix l'escriptura a la memòria de dades EEPROM.

WR: Control d'escriptura.

1 = Inicia un cicle.

0 = Prohibició del començament d'un cicle d'escriptura a la memòria EEPROM.

RD: Control de lectura.

1 = Començament de la lectura.

0 = Prohibició del començament de la lectura.

2.10.5 Registre de control de les interrupcions INTCON

GIE	EEIE	TOIE	INTE	RBIE	TOIF	INTF	RBIF
-----	------	------	------	------	------	------	------

RBIF: Assenyalador de l'estat de la Porta B.

1 = Quan canvia d'estat qualsevol línia del PB (RB <7:4>). S'esborra per software.

0 = Cap entrada del PB ha canviat.

INTF: Assenyalador d'estat de la interrupció externa.

1 = L'entrada de la interrupció no s'ha activat. S'esborra per software.

0 = No hi ha interrupció externa.

TOIF: Assenyalador de desbordament del TMR0.

1 = El TMR0 s'ha desbordat. S'esborra per software.

0 = El TMR0 no s'ha desbordat.

RBIE: Activació de la interrupció de la PB.

1 = Interrupció activada.

0 = Interrupció desactivada.

INTE: Activació de la interrupció externa.

1 = Interrupció activada.

0 = Interrupció desactivada.

TOIE: Activació de la interrupció del TMR0.

1 = Interrupció activada.

0 = Interrupció desactivada.

EEIE: Activació de la interrupció de la memòria EEPROM.

1 = Interrupció activada.

0 = Interrupció desactivada.

GIE: Activació global d'interrupcions.

1 = Permís d'interrupcions concedit.

0 = No hi ha possibilitat d'interrupcions.

2.11JOC D'INSTRUCCIONS

El microcontrolador PIC16F84 té un repertori d'instruccions molt reduït, només de 35 instruccions (si ho comparem amb les 135 instruccions que tenen els Motorola).

Nota: "f" significa font, registre font; "d" significa destí i "k" significa nombre literal.

AND i OR són operacions lògiques equivalents a I i O.

INSTRUCCIONS QUE MANEGEN REGISTRES			
SINTAXIS	OPERACIÓ	CICLES	ASSENyalADORS
ADDWF f, d	Suma W i f	1	C, DC, Z
ANDWF f, d	AND W amb F	1	Z
CLRF f	Esborra (posa tots els bits a 0)	1	Z
CLRW -	Esborra W	1	Z
COMF f, d	Complementa f (inverteix)	1	Z
DECF f, d	Decrementa en una unitat f	1	Z
INCF f, d	Incrementa en una unitat f	1	Z
IORWF f, d	OR entre W i f	1	Z
MOVF f, d	Mou f	1	Z
MOVWF f	Mou W i f	1	-
NOP -	No opera	1	-
RLF f, d	Rota f a l'esquerra a través del carreteig	1	C
RRF f, d	Rota f a la dreta a través del carreteig	1	C
SUBWF f, d	Resta W a f	1	C, DC, Z
SWAPF f, d	Intercanvia nibbles (bits dels registres)	1	-
XORWF f, d	XOR de W amb f	1	Z

INSTRUCCIONS QUE MANEGEN BITS			
SINTAXIS	OPERACIÓ	CICLES	ASSENyalADORS
BCF f, b	Esborra bit de f	1	-
BSF f, b	Posa a 1 el bit f	1	-
INSTRUCCIONS DE SALT			
SINTAXIS	OPERACIÓ	CICLES	ASSENyalADORS
BTFSC f, d	Explora un bit de f i salta si val 0	1(2)	-
BTFSS f, d	Explora un bit de f i salta si val 1	1(2)	-
DECFSZ f, d	Decrementa f i salta si és 0	1(2)	-
INCFSZ f, d	Decrementa f i salta si és 1	1(2)	-
INSTRUCCIONS QUE MANEGEN OPERANTS IMMEDIATS			
SINTAXIS	OPERACIÓ	CICLES	ASSENyalADORS
ADDW k	Suma immediata amb W	1	C, DC, Z
ANDLW k	AND immediat amb W	1	Z
IORLW k	OR immediat amb W	1	Z
MOVLW k	Mou a W un valor immediat	1	-
SUBLW k	Resta W d'un valor immediat	1	C, DC, Z
XORLW k	OR exclusiva amb W	1	-
INSTRUCCIONS DE CONTROL I ESPECIALS			
SINTAXIS	OPERACIÓ	CICLES	ASSENyalADORS
CALL k	Crida a subrutina	2	TO#, PD#
CLRWDT	Esborra o refresca el Gos Guardià (Watchdog)	1	-
GOTO k	Salt incondicional	2	-
RETFIE	Retorn d'interrupció	2	-
RETLW k	Retorn de subrutina i carrega W = k	2	-
RETUR N	Retorn de subrutina	2	-
SLEEP	Passa al mode de repòs	1	TO#, PD#

Com s'ha pogut veure a la taula adjacent, moltes instruccions es mouen utilitzant un registre anomenat W. Aquest registre és l'anomenat Registre de Treball (Work) o Acumulador. El processador inclou un element anomenat ALU el qual s'encarrega d'efectuar totes operacions logo-aritmètiques, i aquest element opera amb dos registres, un prové de W i l'altre pot provenir d'un registre o d'un nombre literal introduït per la mateixa instrucció. Aquests conceptes es veuran més clars quan s'exposi el programa del robot.

Per aprendre amb profunditat i seguretat les funcions i la utilitat de les instruccions descrites s'haurien de dur a terme una sèrie d'exercicis per tal de treballar la matèria i assolir-la amb profunditat. Però aquest no és l'objectiu d'aquest apartat ni d'aquest projecte, sinó que el que es pretén és donar al lector una visió pràctica i objectiva sobre el funcionament de totes aquestes operacions, i la manera més adient per fer-ho és donant tota la informació completa sobre les instruccions i més endavant veure-les aplicades en un projecte concret, en aquest cas, un robot cambrer.

2.12LA FREQUÈNCIA DE FUNCIONAMENT. EL RELLOTGE

La freqüència de funcionament d'un microcontrolador és un paràmetre essencial del qual depèn la velocitat d'execució d'un programa i el consum d'energia.

Totes les instruccions del PIC es realitzen en un cicle d'instrucció (4 períodes de rellotge) excepte les de salt, que tarden el doble. Els impulsos del rellotge entren per la poteta OSC1/CLKIN i es divideixen en 4 internament (Q1, Q2, Q3 i Q4) donant lloc a les 4 senyals mencionades. En aquest temps es desenvolupen les següents operacions:

Q1: Durant aquest impuls s'incrementa el comptador de programa.

Q4: Durant aquest impuls es busca el codi de la instrucció a la memòria del programa i es carrega al Registre d'Instruccions.

Q2-Q3: Durant l'activació d'aquestes senyals es produeix la descodificació i l'execució de la instrucció.

Per aconseguir executar cada instrucció en un cicle d'instrucció (a excepció de les de salt) es recorre a la tècnica de la segmentació o "pipe-line", que consisteix en realitzar en paral·lel les dues fases que comprèn cada instrucció, és a dir, que permet superposar en el mateix cicle la fase d'execució d'una instrucció i la de busca de la següent, excepte en les instruccions de salt, en les quals s'incorpora un cicle buit.

2.12.1 Tipus d'oscil·ladors

Els PIC admeten 4 tipus d'oscil·ladors externs per aplicar-los-hi la freqüència de funcionament; el tipus d'oscil·lador utilitzat ha de ser especificat als bits FOSC1 i FOSC0 de la Paraula de Configuració.

- Oscil·lador de tipus RC: Econòmic. Funciona a base d'una ret RC (resistència-condensador). No presenta gran estabilitat a la freqüència i no es recomana per freqüències superiors a 4MHz.
- Oscil·lador de tipus HS: Alta velocitat. És format per un cristall de quars. La màxima velocitat és de 20MHz però a conseqüència de la seva elevada velocitat s'eleva el consum del microcontrolador.
- Oscil·lador de tipus XT: Velocitat estàndard. S'estabilitza amb un cristall de quars de fins a 4MHz. (aquest tipus és l'utilitzat en aquest projecte en tots els circuits).
- Oscil·lador de tipus LP: Baix consum. Estabilitzat per un cristall de quars de baix consum. La velocitat màxima és de 200KHz.

2.13 REINICIADOR O RESET

Quan s'aplica un nivell lògic baix a la porta MCLR# el microcontrolador es reinicia. Dos aspectes importants ocorren en el procés:

El CP (Comptador de Programa) es carrega amb l'adreça 0, apuntant a la primera instrucció del programa de l'aplicació.

La majoria dels registres d'estat i control prenen un valor conegut i determinat.

2.14 TEMPORITZADORS

En aquest apartat es veuran una sèrie de recursos fonamentals del PIC els quals facilitaran la comprensió de molts conceptes vistos anteriorment.

2.14.1 Temporitzador/Comptador TMR0

És un element comptador de 8 bits que incorpora el PIC16F84 el qual permet controlar diferents temps sense carregar el processador. Pot actuar de dues maneres diferents: Com a temporitzador es carrega amb un valor inicial que es va incrementant amb el pas dels cicles d'instrucció. Com a comptador es va incrementant el seu valor amb cada impuls aplicat des de l'exterior (poteta T0CKI). En arribar al valor màxim i passar a zero activa un assenyalador. Aquest temporitzador es controla mitjançant la configuració del registre OPTION.

En molts casos el temporitzador necessitarà comptar llargs períodes de temps. Per aquesta finalitat disposa d'un circuit programable denominat Divisor de Freqüència el qual també és programat des del registre OPTION.

Per calcular els temps a controlar s'utilitzen les següents fórmules:

- $\text{Temporització} = 4 \cdot \text{Tosc (període d'oscil·lació)} \cdot \text{Valor carregat al TMR0} \cdot \text{Rang del divisor}$
- $\text{Valor a carregar al TMR0} = \text{Temporització} / 4 \cdot \text{Tosc} \cdot \text{Rang del divisor}$

2.14.2 Gos Guardià o Watchdog (WDT)

És un comptador intern de 8 bits que origina un Reset quan es desborda. El seu control de temps és independent al del TMR0. El seu funcionament aplicat en un programa es basa en refrescar-lo, és a dir posar-lo a zero, abans que el seu temps es sobrepassi i produeixi un Reset. Així, si el programa es "penja", el WDT no es refrescarà i reiniciarà el sistema.

La temporització nominal amb la qual es troba programat el Gos Guardià és de 18ms, però amb el Divisor de Freqüència es pot augmentar fins a 2,3s.

2.15 INTERRUPCIONS

Una interrupció és una desviació del flux de control del programa originada asíncronament per successos diversos que no es troben sota la supervisió de les instruccions, és a dir, que són espontanis. Quan es produeix una interrupció es para el programa en curs, es salva d'adreça actual del PC a la Pila i es carrega amb una adreça coneguda, el Vector d'Interrupció. A partir d'aquest moment comença l'anomenada Rutina de Servei a la Interrupció (RSI). Aquesta rutina acostuma a començar guardant a la memòria de dades alguns registres específics del processador els quals solen ser modificats. Llavors es determina la causa de la interrupció, es fa un salt a la rutina de servei corresponent, es restauen els valors dels registres emmagatzemats i finalment, abans de retornar a l'estat del processador, s'esborren els assenyaladors de la interrupció per tal de que no es repeteixin. Cal dir també que des del moment en què es produeix la interrupció fins que es retorna, cap més interrupció pot ésser produïda.

Existeixen 4 maneres o camins diferents d'ocasionar una interrupció:

2.15.1 Interrupció externa INT

A través de la porta RB0/INT es pot ocasionar una interrupció aplicant-hi un nivell lògic determinat.

Realment la interrupció no es produeix en el precís instant en què el nivell lògic és aplicat, sinó que el processador explora l'assenyalador INTF causant de la interrupció al final del primer cicle de rellotge de cada cicle d'instrucció, és a dir, que encara existeix un període d'espera de 3 o 4 cicles de rellotge abans no es produeixi la interrupció.

2.15.2 Interrupció per desbordament del TMR0

Quan el TMR0 es desborda i passa del valor FFh al 00h, activa un assenyalador el qual, si la configuració és apropiada, pot provocar una interrupció.

Si no es recarrega amb un valor, el comptador continua comptant des de 00h a FFh. En qualsevol moment es pot llegir i escriure aquest registre, però cada vegada que s'escriu es perden dos cicles de rellotge per la sincronització.

Per calcular la temporització que el comptador realitzarà s'utilitza la següent fórmula:

- $\text{Temporització} = 4 \cdot \text{Tosc} \cdot (256 - N10) \cdot \text{Rang del Divisor de Freqüència}$
(N10 és el valor en base decimal que es carrega al TMR0)

2.15.3 Interrupció per canvi d'estat de les portes RB7:RB4

En canviar l'estat d'una de les 4 portes s'activa un assenyalador el qual pot produir una interrupció. Aquesta aplicació està destinada al control de teclats matricials.

2.15.4 Interrupció per acabament de l'escriptura a la memòria EEPROM

Els temps d'escriptura típic necessari en aquesta memòria és d'uns 10ms, un temps relativament llarg comparat amb la velocitat del microcontrolador. Per assegurar que aquest procés s'ha completat correctament, és aconsellable valer-se de l'assenyalador EEIF el qual passa a 1 quan acaba el procés d'escriptura. Mentre la escriptura s'està produint, tota mena d'interrupcions han d'ésser impedides a fi de salvaguardar-la.

2.16 REINICI O RESET

Ocasionar un Reset consisteix en carregar el CP amb el valor 000h (Vector de Reset) i posar l'estat dels Registres Específics en un valor conegut. Aquest reiniciament del sistema pot ser provocat per una de les següents causes:

- 1) Connexió de l'alimentació.
- 2) Activació de la poteta MCLR# en funcionament normal.
- 3) Activació de la poteta MCLR# en estat de Repòs.
- 4) Desbordament del Gos Guardià en funcionament normal.
- 5) Desbordament del Gos Guardià en estat de Repòs.

Els valors que prenen els Registres Específics després del Reset es troben reflectits en la taula següent:

REGISTRE	ADREÇA	CONEXIÓ DE L'ALIMENTACIÓ	DESBORDAMENT GOS GUARDIÀ MODE NORMAL	DESBORDAMENT GOS GUARDIÀ MODE REPÒS	MCLR# MODE NORMAL	MCLR# MODE REPÒS
W	---	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
INDIR	00 h	---	---	---	---	---
RTCC	01 h	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
CP	02 h	0000 h	0000 h	CP + 1	0000 h	0000 h
ESTAT	03 h	0001 1xxx	0000 1uuu	uuu0 0uuu	000u uuuu	0001 0uuu
FSR	04 h	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PORTA A	05 h	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
PORTA B	06 h	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
TRIS A	85 h	---1 1111	---1 1111	---u uuuu	---1 1111	---1 1111
TRIS B	86 h	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu	1111 1111	1111 1111
OPTION	81 h	1111 1111	1111 1111	uuuu uuuu	1111 1111	1111 1111
EEDATA	08 h	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
EEADR	09 h	xxxx xxxx	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu	uuuu uuuu
EECON	88 h	---0 0000	---0 ?000	---u uuuu	---0 ?000	---0 ?000
1	89 h	---	---	---	---	---
EECON	0A h	---0 0000	---0 0000	---u uuuu	---0 0000	---0 0000
2	0B h	0000 000x	0000 000u	uuuu uuuu	0000 000u	0000 0000
PCLATH						
INTCON						

u = No canvia condicions

x = Indeterminat

--- = No implementat

? = Depèn d'altres

Cal recordar que perquè un Reset pugui tenir lloc, el temporitzador Power-up, el qual retarda l'activitat del microcontrolador 72ms per garantir una tensió estable, ha d'haver acabat el seu compte, com igualment ho ha d'haver fet un segon temporitzador, el OST, que s'activa just acabar el PWRT (Power-up) i ocasiona un retard de $1.024 \cdot \text{Tosc (ms)}$ a fi de garantir que el cristall de quars de l'oscil·lador està estabilitzat i es troba en funcionament.

Les condicions de Reset queden reflexades als bits TO# i PD# del registre Estat:

TO#	PD#	CONDICIONS DE RESET
1	1	Reset per connexió amb VDD
0	1	Desbordament del WDT en funcionament normal
0	0	Desbordament del WDT en estat de repòs
1	1	Activació MCLR# en funcionament normal
1	0	Activació MCLR# en estat de repòs

2.17EL MODE DE REPÒS O DE BAIX CONSUM

El consum típic del PIC és de 2mA aproximadament, reduint-se a menys de 10(A en el mode de repòs. En aquest mode el PIC queda “congelat” ja que s’atura l’oscil·lador principal, i per tant el TMR0. Sense rellotge el processador es para i no executa més instruccions, no almenys fins que desperti. Per fer-ho, existeixen tres possibilitats: la provocació d’un Reset per la porta MCLR#, el desbordament del WDT si es troba operatiu o la generació d’alguna interrupció (el TMR0 queda inactiu i per tant no pot ocasionar cap interrupció). Un cop ha despertat estableix la freqüència de treball i executa la següent instrucció a SLEEP (responsable de l’activació del mode de repòs).

3.0 BASES EN ELECTRÒNICA I FONAMENTS ELÈCTRICS

3.1 INTRODUCCIÓ

Tot i que aquestes dos conceptes semblin voler dir el mateix, la veritat és que no ho són pas. Els fonaments elèctrics ens exposen el comportament dels electrons, per dir-ho d'alguna manera, mentre que la electrònica s'aprofita d'aquest coneixement bàsic per crear aplicacions i instruments els quals facin possible l'acompliment de les lleis elèctriques bàsiques. Per posar un exemple il·lustratiu poc concret sobre les diferències entre la electricitat i la electrònica podríem dir que davant del simple fet de tallar el corrent en un punt determinat, una ment elèctrica pensaria més aviat en la utilització d'un interruptor, mentre que una ment electrònica abans hauria pensat en un díode (veure més endavant).

En aquesta part del projecte es veuran diferents elements electrònics i lleis elèctriques a partir de les quals es podran dissenyar els diferents circuits del robot.

3.2 FONAMENTS ELÈCTRICS

La majoria de components electrònics duen les funcions de generar, guardar, controlar o dirigir l'electricitat d'alguna manera. Un circuit és compost de varis components que actuen conjuntament a fi de produir l'efecte desitjat. Però tots els circuits electrònics, per molt complicats que puguin semblar, acaben basant-se en les mateixes lleis i estructures.

Primerament cal dir que existeixen dos tipus de corrent: el DC (Direct Current) o CC (Corrent Continu) i el AC (Alternating Current) o CA (Corrent Altern). El CC és el tipus de corrent que es pot obtenir d'una bateria o pila i només permet el flux d'electrons cap a una sola direcció. El CA, pel contrari, és altern, això vol dir que canvia la seva direcció un nombre de vegades per segon, terme especificat com a "freqüència" i mesurat en Hertz (Hz). El CA que es pot obtenir des de qualsevol endoll de corrent d'un habitatge aquí a Espanya té una freqüència de 50 cicles per segon (50Hz). En aquest projecte no es treballa amb CA. Totes les aplicacions electròniques utilitzades

requereixen CC per funcionar. El CC és molt més fàcil d'utilitzar que el CA, ja que aquest últim requereix ja un coneixement tècnic profund en el tema.

A continuació s'estudiaran una sèrie de lleis elèctriques bàsiques les quals ajudaran a dissenyar i entendre algunes de les aplicacions del robot.

La llei d'Ohm permet especificar i mesurar la quantitat de corrent d'un corrent continu.

Llei d'Ohm: $I = V / R$

I: Intensitat (o corrent). És el flux d'electrons, la quantitat de càrrega elèctrica que circula per un punt concret en un temps determinat. La seva unitat de mesura és l'Ampere (A).

V: Voltatge (o tensió). És la diferència de potencial entre dos punts. El potencial elèctric en un punt es defineix com el treball necessari per vèncer les forces del camp elèctric i traslladar la unitat de càrrega positiva des de l'infinit fins a aquest punt. La diferència de potencial constitueix el treball necessari per traslladar una unitat de càrrega positiva des d'un punt fins a l'altre. Es mesura en Volts (V).

R: Resistència. És la propietat que presenta un material d'oposar-se al pas del corrent elèctric. Es mesura en Ohms (Ω).

La potència elèctrica (P) es defineix com l'energia produïda o consumida per unitat de temps. La seva fórmula és: $P = VI$ o bé $P = RI^2$.

Quan els diferents components elèctrics s'associen ho poden fer de dues formes diferents: en sèrie o en paral·lel. Si ho fan en sèrie la intensitat que flueix és la mateixa per tots les elements integrants de la connexió, mentre que el voltatge és la característica que varia d'un component a un altre. En una connexió en paral·lel la propietat a variar és la intensitat, ja que la diferència de potencial per tots els elements és la mateixa perquè tots es troben connectats als mateixos pols del generador elèctric, que és l'encarregat de mantenir la diferència de potencial entre els seus pols.

En les associacions de generadors l'efecte és semblant: si es troben connectats en sèrie la intensitat que flueix és la mateixa, però les ddp (diferència de potencial) de cada generador es sumen. Si pel contrari es connecten en paral·lel, la ddp es manté

igual, però la intensitat resultant correspon a la suma de les intensitats de cada generador.

Aquests conceptes es veuen aplicats a la part pràctica de projecte i es considera que és una part imprescindible pel complet aprenentatge de les lleis elèctriques.

En aquest projecte es treballa fonamentalment amb CC, tot i que també cal fer una referència al CA per tractar un fenomen anomenat “paràsits”. Un paràsit és una pertorbació molt petita (s’ha de comptar que només es treballa amb 5V) de tipus sinusoidal (fluctuant, com el CA) el qual es produeix en el corrent per causes molt diverses i que és convenient d’eliminar, sobretot quan es treballa amb circuits integrats i microxips, per així evitar algun tipus de soroll i preservar millor la conservació dels components.

Quan es fa circular CA (en aquest cas el paràsit) per un condensador, aquest presenta una certa resistència al pas del corrent altern denominada “capacitència” o “reactància capacitiva” (X_c). La X_c depèn d’una manera inversament proporcional de la freqüència del corrent responenent a la fórmula: $X_c = 1 / 2\pi fC$. És a dir, que a major freqüència del corrent, menor resistència per part del condensador al seu pas. De manera que si es col·loca un condensador en paral·lel amb un CI, aquest queda desparasitat ja que qualsevol fluctuació en el corrent és absorbida pel condensador.

3.3 BASES EN ELECTRÒNICA

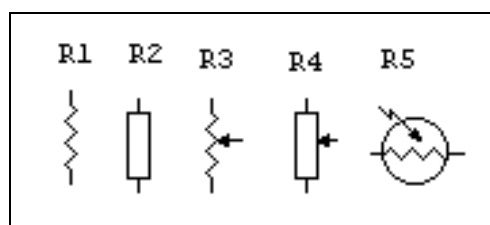
3.3.1 Resistors

Els resistors apareixen en electrònica en molts tipus d’aspectes, però tots tenen la principal funció de limitar el corrent. Són fàcils de distingir perquè segueixen tots un codi de colors. Cadascun té disposats tres bandes de colors les quals mostren el seu valor resistiu. També disposen d’una última banda més apartada de les altres tres la qual indica la tolerància del resistor, és a dir, en quin percentatge ens pot variar la resistivitat del component. Això és degut a la puresa de fabricació del component. Els resistors són elements sense polaritat, així que no importa el sentit en què siguin connectats.

La taula següent mostra els valors que reben els resistors segons el seu codi de colors:

Color	Xifra	Multiplicador	Tolerància
Negre	0	x1	
Marró	1	x10	
Vermell	2	x100	
Taronja	3	x1.000	
Groc	4	x10.000	
Verd	5	x100.000	
Blau	6	x1.000.000	
Violeta	7		
Gris	8		
Blanc	9		
Or		:10	5%
Plata		:100	10%

El mètode a seguir per determinar el valor resistiu d'un resistor és ben senzill. La primera banda de color indica la primera xifra. La segona banda la segona xifra. La tercera, el valor que ha de multiplicar (o dividir) les dues xifres anteriors, i la última només és utilitzada en la construcció d'equips en els quals al dissenyador li interressi una puresa de material determinada, però usualment en les construccions electròniques a nivell casolà l'últim valor no es té en compte.



Aquí apareixen algunes formes de dibuixar els resistors en un circuit. La forma més comú és la de R1 o R2. En els esquemes sovint s'hi troba el seu valor corresponent. R3 i R4 són resistors variables,

és a dir, que es pot ajustar i canviar el seu valor resistiu. Aquestes resistors s'anomenen "potenciòmetres". Són utilitzats per ajustar el volum dels aparells de ràdio, la brillantor d'una llum o la sensibilitat d'un sensor, per exemple. Una altra versió dels potenciòmetres la qual és extraordinàriament utilitzada en petites construccions electròniques són els anomenats "trimmer". Aquests resistors duen incorporats una obertura de plàstic per ser-hi introduït un tornavís i així poder ajustar el seu valor resistiu. R5 és un fotoresistor, és a dir, que la seva resistència varia d'acord amb la incidència de llum que rep.

Connectant diversos resistors en sèrie s'aconsegueix un resistor més gran, és a dir, el seus valors resistius es sumen, mentre que si es connecten en paral·lel, el valor resistiu resultant és més petit d'acord amb la llei de que la inversa (elevant a la -1) de la

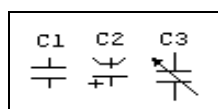
resultant és igual a la suma de les inverses dels resistors en paral·lel: $1/RT = 1/R1 + 1/R2 + \dots + 1/Rn$.

3.3.2 Capacitors

Un capacitor (o condensador més comunament anomenat) du a terme quatre funcions bàsiques:

- 1- Acumula càrrega, com si fos una bateria. Els capacitors utilitzats en els circuits d'aquest projecte són del tipus electrolític (1000(F/25V) i ceràmic (100nF i 27pF). El primer és utilitzat en la font d'alimentació, on la CC necessita ser depurada, és dir, que se n'eliminen les variacions de tensió fluctuants, l' "arissat d'ona", tal com es denomina. Els segons són utilitzats per desparasitar, és a dir, eliminar els paràsits. El de 100nF és utilitzat per desparasitar el corrent d'alimentació mentre que els de 27pF són utilitzats per desparasitar el cristall de quars oscil·lador de la freqüència de funcionament del microcontrolador.
- 2- Un capacitor actua com a barrera amb el CC mentre que deixa passar el CA, com en un amplificador d'àudio, on es passa el senyal d'àudio a través d'una etapa cap a la pròxima (veure Radiocomunicacions).
- 3- Contraresta la reactància inductiva (resistivitat d'un inductor (bobina) travessat per CA) de manera que un circuit entri en ressonància (veure Radiocomunicacions).
- 4- Filtra les espurnes. Aquest cas és utilitzat en els motors de CC de manera que no perdin energia en forma d'espurnes (llum i calor). Amb un condensador (ceràmic de 220nF) és possible atenuar aquestes espurnes.

Tan bon punt el corrent arriba als capacitors, ells ja comencen a emmagatzemar la càrrega elèctrica. A la llarga es van descarregant si es deixen estar, però també es pot fer curtcircuitant els seus pols (tal com Hertz va fer per estudiar les ones electromagnètiques, veure Radiocomunicacions més endavant) o bé col·locant-hi un resistor.



La capacitat d'un condensador es mesura en farads (F). A continuació es mostren alguns dels símbols utilitzats per representar els condensadors en un esquema elèctric. C1 indica que es tracta d'un capacitor normal

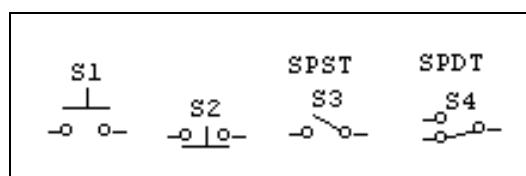
fix, sense polaritat (com els ceràmics). C2, en canvi, en representa un de polaritzat, electrolític, això vol dir que s'ha de respectar el sentit del capacitor a l'hora de col·locar-lo a la placa (circuit). En cas contrari hi ha perill de que ocasioni una petita explosió. Aquests condensadors ja són venuts amb una etiqueta o marca indicant la seva polaritat de manera que s'evitin la majoria d'errors possibles. C3 indica un capacitor variable. Aquests últims són molt poc freqüents en els circuits.

Els capacitors també tenen el seu sistema d'identificació segons el seu color, tot i que també utilitzen les lletres i nombres per la seva representació. El sistema de colors és molt menys utilitzat que el dels resistors, de manera que no s'ha considerat rellevant per ser exposat en el treball.

Pel que fa a les associacions de condensadors cal dir que funciona just a l'inrevés que els resistors, és a dir, connectats en paral·lel s'aconsegueix un capacitor més gran, mentre que en sèrie se n'aconsegueix un de menor capacitat.

3.3.3 Interruptors

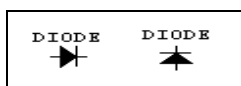
Tot i que tothom ja sap el que és un interruptor es prefereix fer igualment una visió general sobre l'element degut a la seva enorme utilització (en el projecte el joystick funciona a partir de 4 interruptors – pulsadors de contacte disposats en les 4



direccions principals: N, S, E i O). S1 és un pulsador normalment obert (NO). Aquest seria el símbol adequat per identificar un “bumper” o sensor de contacte, el qual un robot podria

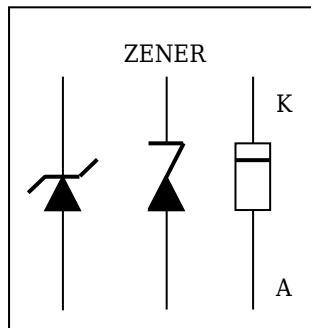
aprofitar per saber si ha entrat en contacte amb algun objecte. S2 és un pulsador normalment tancat (NT). S3 és un interruptor, com el de qualsevol habitació. Aquest és permanent, és a dir, un cop polsat, ja no retorna al seu estat anterior. S4 és un commutador, que ve a ser molt semblant a un interruptor però permet controlar dues vies o dispositius diferents.

3.3.4 Díodes



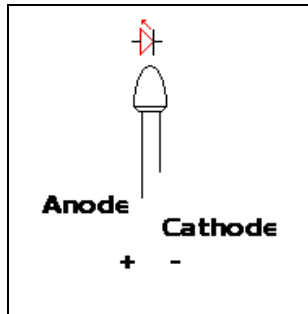
La forma més simplificada de descriure un díode és dient que es tracta d'un element electrònic que permet el pas del corrent cap a un sentit i s'hi oposa en sentit contrari. En la representació del díode, el costat que duu la

banda marcada correspon al càtode, mentre que l'altre costat és anomenat ànode. Un díode condueix el corrent si es polaritza positivament per l'ànode i negativament pel càtode.

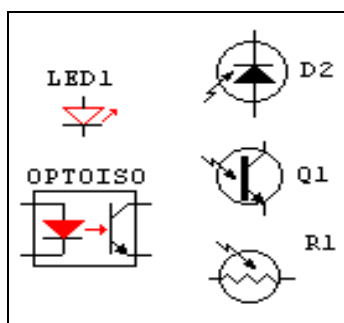


Hi ha molts tipus de díodes. El que més s'utilitza en dissenys electrònics petits és el rectificador, el qual pot ser utilitzat per transformar corrents baixes de CA a CC, multiplicar el voltatge, dur a terme operacions de lògica i absorbir espurnes formades per altres mecanismes. També existeixen els díodes Zener els quals funcionen com un interruptor sensitiu de voltatge, és a dir, són operatius a un determinat voltatge (cal tenir en compte però que per ser sensibles al voltatge han d'ésser polaritzats inversament). També hi ha els LEDs (Light Emitting Diode) els quals són tractats més endavant, igual que els fotodíodes. En un esquema electrònic sempre figura el nom (model o identificador) del díode utilitzat al costat de la seva representació gràfica.

3.3.5 LEDs i Circuits Òptics



La funció del LED és la de convertir el corrent elèctric en llum. La llum emesa pel LED és directament proporcional al corrent que el travessa. Tot i així, els LEDs requereixen un angle de visió perpendicular a ells i usualment tenen un curt abast d'emissió. Com que els LEDs depenen directament del corrent necessiten ser protegits d'un excés de corrent amb un resistor. Per identificar la polaritat d'un LED es mira la longitud dels seus connectors; el més llarg correspon al pol positiu. La figura adjacent representa la forma real i esquemàtica del LED.

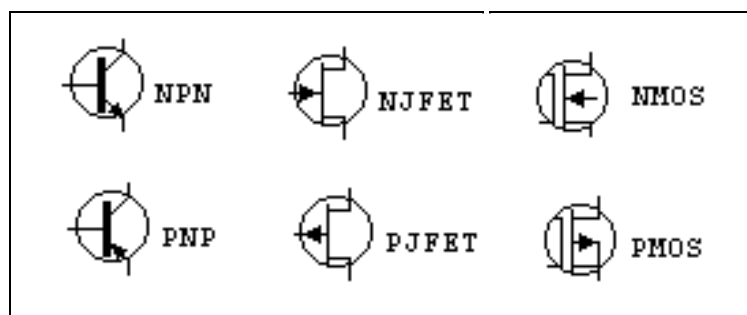


En aquesta figura D2 representa un fotodíode. La seva funció és detectar la llum. A partir d'un raig de llum mínim permet la seva polarització. Q1 representa un fototransistor, és semblant a un fotodíode però és més destinat a funcionar com a interruptor, de manera que per comunicacions per raigs de llum i sensors infraroig aquest és l'element necessari. R1 és un fotoresistor. Actua igual que un resistor variable però aquest varia segons la

incidència de llum que rep. No tenen polaritat i la seva resistència és extraordinàriament alta (fins a milions d'ohms) quan la llum no hi incideix. Són molt utilitzats en robòtica com a ulls, ja que permeten trobar el punt més fosc o més clar en una habitació, per exemple, o diferenciar entre la nit i el dia. Es troben presents en molts sensors de seguretat i en joguines, incloent els famosos Furby.

El dibuix esquemàtic marcat com a OPTOISO representa un aïllant òptic, un optoacoblador. Conté un LED emissor de llum i un fototransistor. És utilitzat com a interruptor per connectar elements de control molt delicats amb aplicacions que requereixen una gran potència. Gràcies a aquest aïllant, si alguna cosa fallés a la part més potent del circuit, mai afectaria a la fràgil circuiteria de control perquè aquesta es trobaria aïllada per aquest mecanisme, oferint un aïllament elèctric al voltant d'un bilió d'ohms. A part d'aquest tipus d'optoacobladors, també n'existeixen una altra varietat els quals en comptes d'un fototransistor integren un fototriac (dos díodes en paral·lel però un d'ells invertit) de manera que permetin així, amb la polarització del raig de llum procedent del LED, el pas del corrent altern i així controlar aplicacions les quals requereixin aquest tipus de corrent, per exemple, una disposició de bombetes incandescentes.

3.3.6 Transistors



Són components semiconductors amb tres portes, és a dir, disposen de tres petits trossos de metall en forma de pua per ser connectats. Un corrent o voltatge molt petit en una porta és capaç de controlar

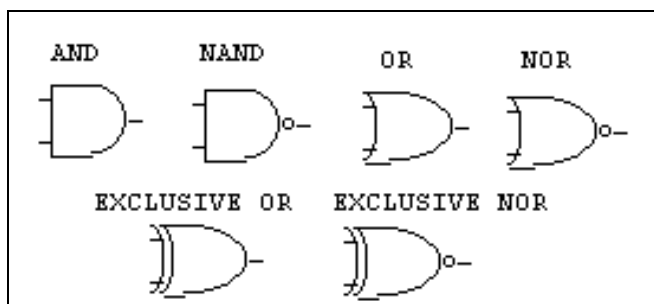
una corrent molt més gran entre les altres dues portes. Aquest tipus d'acció converteix el transistor en un tipus d'interruptor mecànic, però sent realment electrònic, i aquesta és la seva funció bàsica. Els circuits integrats (CI) o més comunament anomenats "xips" tenen incorporats varis mils de transistors al seu interior. Els processadors d'ordinador són compostos de milions de transistors. Tot i així, no només es poden utilitzar com a interruptors, ja que també poden actuar com a amplificadors.

El transistor més bàsic és probablement el “transistor bipolar”, i aquest és compost per tres capes les quals són l'Emissor, la Base i el Col·lector. A la figura dels transistors s'hi troben els NPN i els PNP. Això correspon al tipus de material del qual estan construïts: N o P.

Un excés de corrent pot provocar el sobreescalfament d'un transistor i la seva conseqüent ruptura. Per aquest motiu, en molts circuits els transistors són dotats de refrigeradors, de manera que perdin calor més fàcilment i puguin funcionar correctament molt més temps. Un refrigerador és una peça metàl·lica amb diverses extensions que s'adapta al transistor. També les fonts d'alimentació disposen d'aquests refrigeradors. En el projecte s'utilitzen estabilitzadors de tensió a 5V i aquests són equipats amb un refrigerador d'aquests cadascun. Les fonts d'alimentació, també, poden disposar d'uns transistors especials anomenats MOSFET (a la figura els de la dreta). Aquests transistors permeten que pocs volts puguin activar o amplificar molts amperes a velocitats molt ràpides, per aquest motiu són ideals pel control de motors.

Els transistors del mig de la figura són els anomenats JFET. Poden ser utilitzats com a amplificadors o interruptors, tal i com tota la resta de transistors, però aquests particularment tenen incorporats altes resistències a les seves portes (els JFETs no tenen emissor, base i col·lector, sinó que disposen d'una font, un drenador i una porta) i tenen un efecte de poca consideració en els components externs connectats a les seves portes. Aquests transistors no són utilitzats per realitzar feines que requereixin una gran potència.

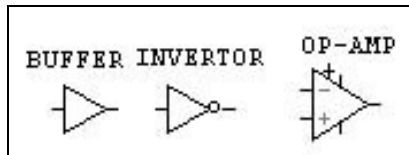
3.3.7Circuits Integrats



Ens circuits integrats (CI) fan referència a les minúscules construccions electròniques contingudes en un xip de silici. Per exemple un CI podria tenir al seu interior incorporats un transistor amb dos díodes i dos resistors. Aquests

elements mai serien representats en un esquema, tot i que realment es trobin dins el circuit disposats en fines capes de silici. Els CI fan possible el reduït volum de la electrònica, i n'hi ha milions de diferents, però tots parteixen d'una construcció bàsica

a partir de transistors bàsics. Tot i així, de vegades poden ésser dibuixades determinades parts, anomenades portes lògiques, algunes de les quals són representades a la figura de l'apartat.

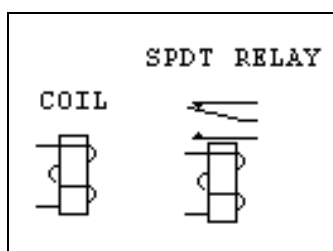


El darrer dibuix de la figura adjacent representa un amplificador operacional o OP-AMP més comunament anomenat. És un CI barat i versàtil compost per varis transistors, resistors i capacitors. A més de treballar aïllat, també pot ésser connectat amb altres components externs per ampliar la seva gamma d'operacions i aplicacions. Aquest component pot dur a terme les funcions d'amplificador, sumador, comparador, convertidor AC/DC, filtres, etc. entre d'altres.

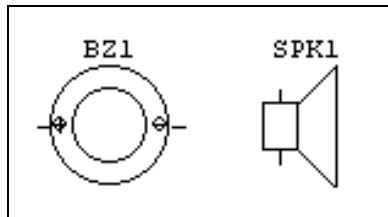
Els CI es troben integrats en molts i diferents tipus de càpsules, essent la del tipus "dip" la més comú; l'aspecte d'aquests circuits és el d'un petit rectangle negre de plàstic amb dues línies de pues als costats més llargs, tal i com s'utilitzen en aquest projecte, i amb una petita marca indicadora la qual en permet establir l'ordre de les pues a fi d'evitar confusions.

3.3.8 Relès i Altaveus

Tot i que en el projecte l'ús l'algun relè o altaveu no ha estat utilitzat, no es creu desfavorable d'explicar breument aquests elements ja que es troben presents en una immensitat de circuits.



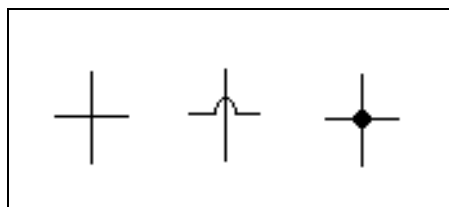
Els relès són interruptors electromagnètics. Una petita corrent a través d'una bobina (coil) dins el relè crea un camp magnètic que estira o empeny un contacte respecte un altre. Tal com s'ha dit, els relès són molt freqüents en electrònica, tot i que no se n'hagi utilitzat cap. Un exemple molt clar és el de connexió a Internet a través de l'ordinador: el clic que es sent abans de la connexió correspon al moviment d'un relè. Segons el tipus de contacte que originen apareixen diferents tipus de relès. El de la figura, SPDT, correspon a un relè el qual amb un interruptor controla dues connexions.



I continuant amb el efectes de l'electromagnetisme en electrònica cal destacar la presència dels zumbadors (BZ1) i els altaveus (SPK1). L1 que acompanya cada element correspon a la seva numeració i és present en tots els

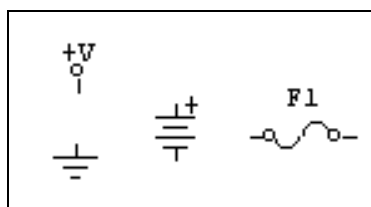
esquemes, fins i tot si només n'hi ha un. El zumbador permet produir un soroll, usualment desagradable, com pot ser el del timbre d'alguns habitatges, a no ser que es canviï per algun altre timbre comercial. L'altaveu, pel contrari, permet la producció de sons més agradables si disposa d'un circuit electrònic adient. A més, un altaveu pot ser utilitzat per la producció d'ultrasons i així ser utilitzat com un radar i detectar la distància a la qual es troba un objecte.

3.3.9 Cables i Potència



En la figura podem observar diferents connexions de cables en un esquema. Les dues primeres simbolitzen que dos cables es creuen però que no es troben connectats; el puntet que descriu la segona figura té

simplement l'objectiu d'evitar confusions. La tercera figura és l'única que correspon a una connexió entre dos cables.



La figura següent correspon a diferents símbols per indicar la posició de les fonts d'alimentació. La que és representada per +V correspon al pol positiu de la font. Normalment s'acompanya amb el valor del voltatge de la font. El símbol

situat just a sota correspon al pol negatiu o massa. És el pol comú a totes les diferents connexions del circuit.

El símbol del mig de la figura correspon a una bateria. El costat més llarg indica que és el pol positiu de la mateixa, com és indicat. En aquest cas es pot deduir que es tracta d'una associació en sèrie de dues piles.

L'últim símbol de la figura (F1) correspon a un fusible. Aquest element va connectat entre el pol positiu de la font d'alimentació i el pol positiu del circuit. La idea és que el fusible es fongui abans de que es cremi qualsevol element del circuit a causa d'algun

curtcircuit. No sempre és necessari aquest element (en el projecte no s'utilitza) però no estaria de menys en aplicacions en contacte amb CA o motors treballant a voltatges elevats.

4.0 MOTORS DE CORRENT CONTINU

4.1 INTRODUCCIÓ

En aquest projecte és bàsic el funcionament de sis motors de CC, així que s'ha considerat una part suficientment important com per dedicar-li aquest apartat del projecte.

Primerament cal esmentar que un motor de CC es tracta d'una màquina elèctrica capaç de transformar l'energia elèctrica (en aquest cas el CC) en energia mecànica o moviment (rotatori).

Es diu que un motor treballa *en buit* quan no es troba connectat a cap circuit exterior o càrrega. Treballa en *estat nominal* o en *règim nominal* quan ho fa en la situació per la qual ha estat construït o dissenyat, de manera que no hi ha perill que es sobreescalfi ni que els materials que el formen es facin malbé. Quan un motor treballa exactament als seu valor nominal es diu que està *a plena càrrega*. També es possible que treballi a una potència superior als seu estat nominal i aleshores treballa a *sobrecàrrega*.

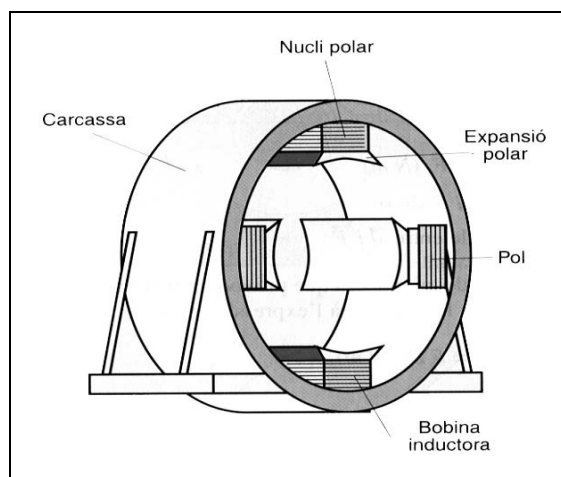
Durant el seu funcionament un motor pot sofrir variacions que l'allunyin del seu estat nominal. Si el mateix motor és capaç de reaccionar automàticament i compensar la variació es diu que és *estable*.

4.2 ESTRUCTURA INTERNA

Els motors de CC són màquines elèctriques rotatives les quals estan formades per una part fixa anomenada "estator" i una part mòbil anomenada "rotor".

4.2.1 L'estator

També anomenat "inductor". Consta de les següents parts:



- La "carcassa" o "culata" és una espècie de cilindre metàl·lic de secció variable que forma el cos del motor. La seva funció és conduir el flux magnètic creat a l'interior del motor i suportar la resta d'elements que formen l'estator.
- Els "pols" són unes peces cargolades a la culata. Poden ser d'una sola peça o laminats. Tenen una part de secció quadrada o

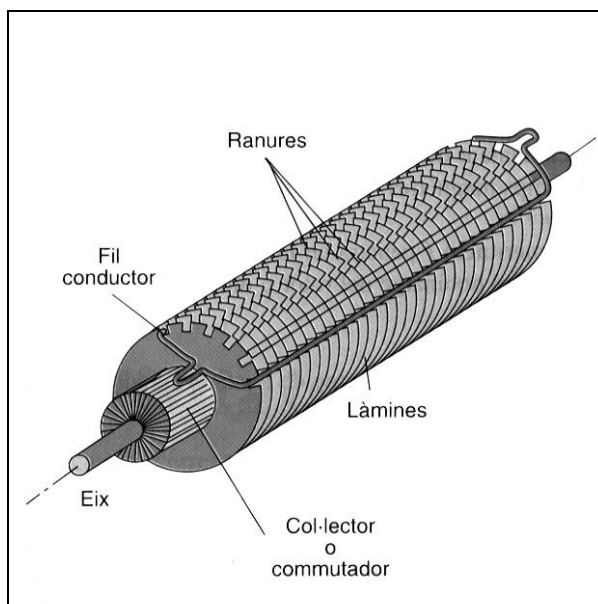
rectangular anomenada “nucli polar” i un extrem més ample anomenat “expansió polar”.

- Les “bobines inductores” o “enrotllat inductor” es troben al voltant de cada pol i enrotllades al nucli polar.

La connexió entre les bobines que hi ha damunt dels pols s’ha de fer de manera que s’obtingui polaritat de sentit contrari alternativament.

4.2.2 El rotor

També rep del nom d’ “induït”. El formen els elements següents:



- El “nucli” o “armadura” és un cilindre format per discos molt prims fets de xapa magnètica i aïllats entre ells. Tant la seva forma com els materials de què està fet són necessaris per disminuir les pèrdues dels camps magnètics que hi han de circular.
- Les “bobines induïdes” són unes bobines enrotllades a unes ranures fetes a la superfície del cilindre. Aquestes ranures tenen seccions diferents segons les dimensions de la màquina, la seva velocitat

de funcionament i el tipus de fil conductor utilitzat.

- L’ “eix” del motor és la part on es col·loca el cilindre, i es recolza, mitjançant uns coixinets, a la seva carcassa.
- El “col·lector” o “commutador” permet connectar l’induït del motor amb l’exterior. Està format per un conjunt de làmines de coure de secció trapezoide, anomenades “lamel·les”, muntades sobre l’eix de la màquina i separades entre elles per un material aïllant. Totes elles estan connectades a les seccions de l’enrotllament induït. Per mantenir junt tot el conjunt es fan servir anelles.

4.2.3 Les escombretes

Són unes peces fetes de carbó o de grafit per on circula el corrent elèctric des de la font d’alimentació fins al col·lector a través de les lamel·les, amb les quals està en continu contacte. És en aquest punt on es produeixen espurnes, les quals poden ser atenuades gràcies als condensadors, els quals són disposats en paral·lel amb el motor.

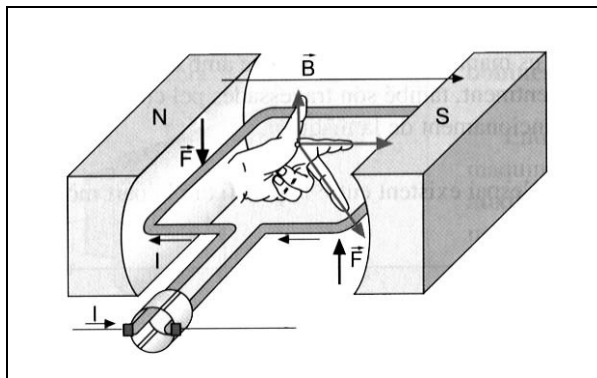
En el projecte es pot observar que cada motor disposa del seu condensador ceràmic no polaritzat de 220nF per eliminar i atenuar el nombre màxim d'espurnes possible.

Les escombretes es mantenen en la seva posició gràcies als "portaescombretes", la funció dels quals és exercir pressió sobre les escombretes perquè es mantinguin en contacte amb el col·lector sense interrupció.

L' "entreferro" és l'espai existent entre la part fixa i la part mòbil del motor.

4.3 PRINCIPI DE FUNCIONAMENT

Es basa en la interacció de dos camps magnètics: el del rotor i el de l'estator.



El corrent d'alimentació I penetra al motor pel col·lector o commutador i circula pel bobinat del rotor o induït, que es troba enrotllat al nucli.

El corrent d'excitació I_e és el que circula pel bobinat de l'estator o inductor. Aquest corrent crea un camp magnètic B ja que una partícula elèctrica en moviment crea un camp magnètic. Si aquesta partícula circula per un conductor en forma d'espira, la direcció del camp coincideix amb l'eix de l'espira i el seu sentit es determina mitjançant la llei de Maxwell o de tirabuixó. De manera que el circuit elèctric que queda muntat en l'estator és un electroimant. També hi ha motors de CC que duen com a inductors imants permanents.

La interacció entre el camp magnètic creat B i el corrent d'alimentació I genera una força F , ja que quan una càrrega circula per un conductor situat a l'interior d'un camp magnètic, es produeix una força mecànica que tendeix a moure el conductor en direcció perpendicular al corrent i al camp magnètic.

Cal observar que el sentit d'aquesta força és diferent a cadascuna de les bandes de l'espira perquè el sentit del corrent també és diferent. Aquest efecte provoca que el bobinat induït giri sobre ell mateix. Tal com es mostra a la figura, una manera fàcil de

determinar el sentit de la força és aplicant la regla de la mà esquerra tal com és il·lustrat.

4.4 CLASSIFICACIÓ DELS MOTORS DE CC

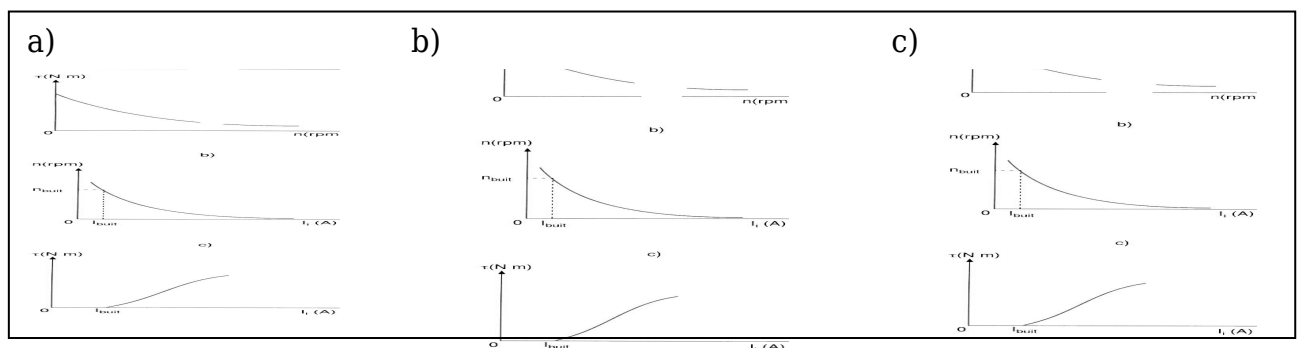
Es realitza d'acord amb el tipus de corrent d'excitació que té el motor. Si aquest corrent és subministrat per una altra màquina es diu que el motor té "excitació independent". Però en el cas que el corrent sigui subministrat pel mateix motor es diu que és un "motor autoexcitat". En aquest cas, les bobines inductora i induïda es poden trobar connectades de tres formes diferents: en sèrie, en derivació (paral·lel o shunt) o composta (mixta). Donat el cas que tots els motors utilitzats en el projecte corresponen a un mateix tipus, els d'excitació en sèrie, no s'aprofundeix en l'estructura i funcionament dels altres tipus de motors.

4.4.1 Motors de CC amb excitació en sèrie

En aquests motors, les bobines inductores i induïdes es troben connectades una a continuació de l'altra, de manera que el corrent d'alimentació que es subministra és el mateix que circula per tots els bobinats.

La potència que el motor transforma en energia mecànica és la potència subministrada menys les pèrdues que es produeixen, entre les quals, la més important és la produïda per l'efecte Joule o la pèrdua d'energia mecànica en forma d'energia calorífica.

4.5 CORBES CARACTERÍSTIQUES I COMPORTAMENT



Segons les corbes característiques del comportament dels motors de CC d'excitació en sèrie (figures a, b i c) es pot veure que el parell motor (τ) que pot oferir varia amb el nombre de revolucions per minut al qual estigui girant. A més velocitat de gir menys parell a disposar. És aquesta la raó per la qual a mesura que es va carregant un motor,

la seva velocitat disminueix, així que pot disposar de més parell per realitzar la tasca. També es pot observar que si la intensitat que circula pel motor és elevada indica que les seves revolucions són baixes. És a dir, quan un motor es troba revolucionant molt de pressa, el seu parell és molt reduït, així com també ho és la seva intensitat. Per aquest efecte, en l'arrencada d'un motor de CC, com que el seu estat inicial és parat, la intensitat que el travessa esdevé molt alta, posant en perill el mateix motor. Per aquest motiu, en motors de CC industrials amb molta més potència que els utilitzats en el projecte, s'utilitza una resistència variable divisora de tensió per adequar el motor al treball òptim i així evitar algun desperfecte del mateix.

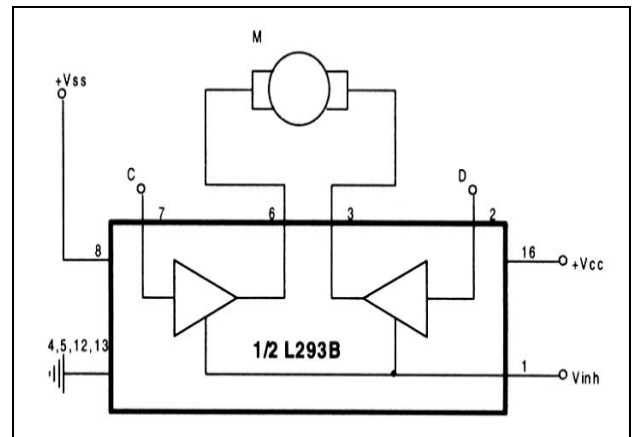
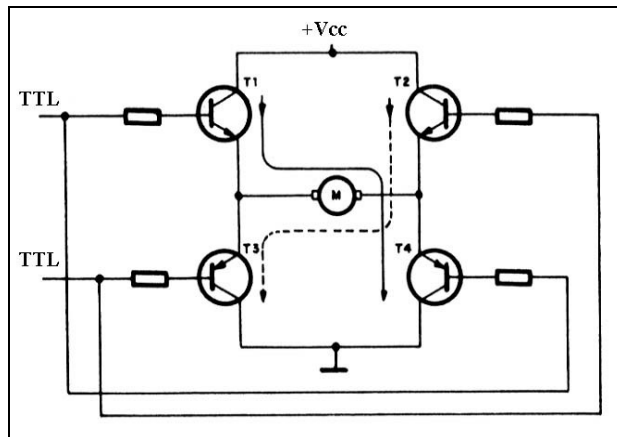
I finalment, es veu que en augmentar la intensitat d'un motor augmenta el seu parell motor. Indiscutiblement, si un motor rep una intensitat més elevada podrà desenvolupar una major potència i per tant aquest fet repercutirà en algun dels aspectes anteriorment tractants (parell i velocitat).

4.6 CONTROL DEL SENTIT DE GIR (PONT EN H)

És interessant en microbòtica tenir un bon control dels motors amb els quals es treballa. Com en el cas d'aquest projecte es disposa de 6 motors de CC, és convenient de controlar amb precisió el sentit de gir dels mateixos. Això és possible gràcies a una commutació electrònica anomenada "pont en H".

Gràcies a aquesta estructura, amb dues línies de control TTL del PIC16F84 és possible invertir la polaritat dels pols del motor així que giri cap a l'esquerra o cap a la dreta.

Tot i així, en la construcció real del microbot no s'utilitza exactament un circuit com el de la primera figura amb quatre transistors de potència, sinó que en canvi s'utilitza un



circuit integrat, el L293B, el qual ja integra un pont en H en el seu interior.

Aquest CI requereix una tensió d'alimentació de la lògica dels "buffers" ($V_{in h}$) i una altra de càrrega per alimentar els motors (V_{ss}). És un CI capaç de proporcionar una intensitat d'1A per canal.

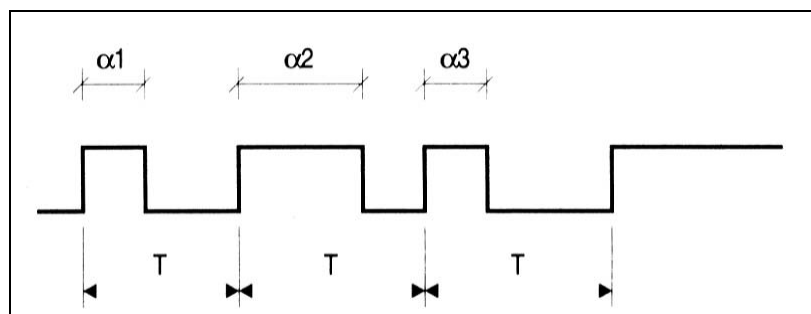
La taula següent mostra les característiques elèctriques bàsiques del circuit integrat L293B:

Símbol	Paràmetre	Mínim	Típic	Màxim	Unitats
V_{ss}	Alimentació de es càrregues.	V_{ss}		36	V
V_{cc}	Alimentació de la lògica.	4,5		36	V
V_{IL}	Tensió d'entrada a nivell "0".	-0,3		1,5	V
V_{IH}	Tensió d'entrada a nivell "1".	2,3		V_{cc}	V
I_{IL}	Corrent d'entrada a nivell "0".			-10	μA
I_{IH}	Corrent d'entrada a nivell "1".		30	100	μA
V_{inhL}	Tensió d'habilitació a "0".	-0,3		1,5	V
V_{inhH}	Tensió d'habilitació a "1".	2,3		V_{cc}	V
I_{inhL}	Corrent d'habilitació a "0".			-10	μA
I_{inhH}	Corrent d'habilitació a "1".		30	100	μA
t_r	Temps de pujada a nivell de tensió alt.		250		ns
t_f	Temps de baixada a nivell de tensió baix.		250		ns

I la taula que segueix a continuació correspon a la taula de veritat del propi circuit integrat:

V_{inh}	A	B	Moviment
H	L	L	Aturada ràpida del motor.
H	H	H	Aturada ràpida del motor.
H	L	H	Gir cap a l'esquerra.
H	H	L	Gir cap a la dreta.
L	X	X	Motor desconnectat, gir lliure.

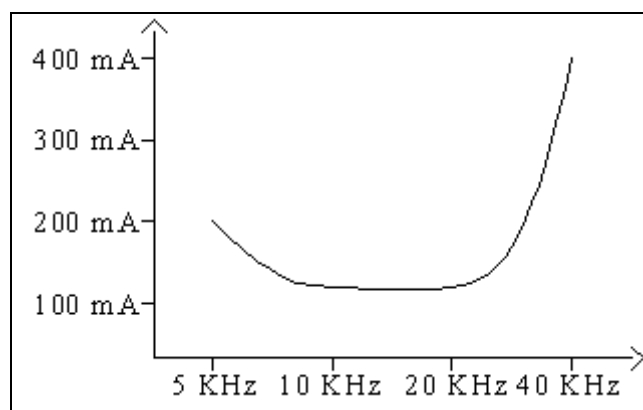
4.7 CONTROL DE LA VELOCITAT DE REVOLUCIÓ (PWM)



Per regular la velocitat de revolució dels motors del robot existeix un mètode anomenat modulació d'amplada d'impulsos (PWM), el qual consisteix en aplicar

tensió al motor amb una freqüència determinada, de manera que en els intervals existents s'hi puguin aplicar un impuls d'amplada (duració) determinada d'acord amb la velocitat de gir del motor. Gràcies a aquest mètode es regula la tensió aplicada al motor segons la duració de l'impuls, mantenint una relació directament proporcional, és a dir, a més amplada de l'impuls més tensió aplicada al motor.

Per tal d'aconseguir un efecte nítid sense cops bruscos en els motors és necessari aplicar una freqüència adequada, així com també per possibilitar el motor la disposició de suficient intensitat per dur a terme una arrancada sense problemes. El gràfic que apareix al final del paràgraf mostra la relació existent entre les diferents freqüències aplicades a través de PWM en un motor de CC i les seves intensitats corresponents. Segons es pot observar, quan la freqüència aplicada arriba a 40KHz la intensitat que li correspon és de 400mA i el gràfic tendeix a infinit (intensitat tendeix a $+\infty$). Donat que els motors del robot incorporen una resistència en sèrie limitadora d'intensitat a 500mA, la freqüència de treball amb PWM que es determina es de 40KHz, és a dir, amb un període de 25(s. Aquest és un aspecte que cal tenir en compte ja que cal recordar que els motors es troben connectats a uns circuits integrats, els L293B, els quals han de ser capaços de produir tals variacions de tensió a la freqüència (o període) desitjada. Es circuits integrats permeten tals variacions a partir d'un període de 250ns, tal com es mostra en les seves característiques elèctriques bàsiques, el temps que tarden en proporcionar un nivell de tensió alt o baix.



5.0 RADIOCOMUNICACIONS

5.1 INTRODUCCIÓ

En aquest apartat es mostra la comunicació sense cable existent entre el “joystick” i el cos del microbot en si. Com que s’ha utilitzat el mateix sistema que un cotxe teledirigit, les ones de radiofreqüència, aquí se n’explica el seu funcionament, a més d’altres aplicacions directament relacionades amb el sistema (ràdio i televisió) que s’han cregut interessants per ser incloses i que a més en complementen les explicacions.

5.2 HISTÒRIA

El naixement de les radiocomunicacions es remunta fins l’any 1873, quan el físic anglès James Clerk Maxwell publicà la seva teoria sobre les ones electromagnètiques. La seva teoria era referida sobre tot a les ones de llum.

Quinze anys més tard, el físic alemany Heinrich Hertz va aconseguir generar elèctricament aquestes ones subministrant càrrega elèctrica a un condensador curtcircuitant-lo a continuació per mitjà d’un arc voltaic, és a dir, com si hagués generat un petit llamp. Aquest arc radiava part de l’energia de la espurna en forma d’ones electromagnètiques. Hertz aconseguí mesurar algunes de les propietats d’aquestes ones incloent la seva longitud i velocitat.

Però la idea d’utilitzar ones electromagnètiques per la transmissió de missatges no era nova: l’heliògraf, per exemple, transmetia els missatges mitjançant un feix de raigs lluminosos (codi Morse). Però les ones de ràdio presenten molts més avantatges sobre la llum gràcies a la seva comoditat.

Les ones de ràdio poden cobrir distàncies enormes, a diferència de les microones (utilitzades per Hertz). A més, poden sofrir grans atenuacions i continuar essent perceptibles i amplificables. Tot i així els bons amplificadors no existiren fins l’aparició de les vàlvules electròniques. De manera que el gran desenvolupament de les radiocomunicacions va estar fortament lligat amb el desenvolupament de la electrònica.

Per detectar la presència de la radiació electromagnètica, Hertz va utilitzar un cercol semblant a les antenes circulars. Llavors l’inventor David Edward Hughes ja havia descobert que un contacte entre una punta metàl·lica i un tros de carbó no conduïa la

corrent, però aquest es tornava conductor si es feien circular ones electromagnètiques pel punt de contacte. Aquest principi fou utilitzat pel físic britànic Sir Oliver Joseph Lodge en un dispositiu anomenat “cohesor” el qual detectava les ones de ràdio. Però aquest dispositiu només donava una única resposta a les ones de ràdio de suficient potència de diverses intensitats, per la qual cosa servia per la telegrafia però no per la telefonia.

L'enginyer elèctric i inventor italià Guglielmo Marconi està considerat universalment l'inventor de la ràdio. A partir del 1895 va anar desenvolupant i perfeccionant el cohesor i millorà els oscil·ladors d'espurna connectats a antenes rudimentàries. El transmissor es modulava mitjançant una clau ordinària de telègraf. El cohesor del receptor accionava un instrument telegràfic que funcionava bàsicament com amplificador.

A finals del 1901 ja aconseguí transmetre una carta sencera d'una punta a l'altra de l'oceà. El seu sistema representà una paper essencial en les comunicacions entre terra ferma i alta mar, així com també en els rescats de catàstrofes marítimes com la del Titànic. Com a reconeixement pels seus treballs en el camp de la telegrafia i les comunicacions sense cable, el 1909 compartí el Premi Nobel de Física amb el físic alemany Karl Ferdinand Braun.

Al llarg de tots aquests anys s'ha introduït diferents millores tècniques. Per la sintonia s'utilitzaren circuits ressonants dotats d'inductància i capacitància¹. Les antenes han anat perfeccionant-se, descobrint-se i aprofitant les seves propietats direccionals. S'utilitzaren els transformadors per augmentar el voltatge enviat a l'antena. Es desenvoluparen altres detectors per complementar al cohesor. Es construí un detector magnètic basat en la propietat de les ones magnètiques per desmagnetitzar els fils d'acer, un bolòmetre que mesurava l'augment de temperatura d'un cable fi quan era travessat per ones de ràdio i la denominada vàlvula de Fleming, precursora de la vàlvula termoiónica o làmpada de buit (díode) la qual es basava en les emissions d'ions per agitació tèrmica.

Ja a segle XX, el desenvolupament de la vàlvula electrònica es remunta al descobriment de l'inventor nord-americà Thomas Alva Edison, qui entre un filament d'una làmpada incandescent i un elèctrode col·locat a la mateixa làmpada hi féu fluir un corrent, el

qual només ho feia en un sentit. La vàlvula de Fleming gairebé no diferia d'aquest tub, el qual actuava de detector, rectificador i limitador.

El 1906 l'inventor nord-americà Lee De Forest introduí un tercer element, la reixeta, la qual anava entre el filament i el càtode de la vàlvula. El tub de De Forest fou batejat amb el nom d' "audió", però actualment se'l coneix amb el nom de "triode" (vàlvula de tres elements). Al començament només s'utilitzava com a detector, però aviat se'n descobriren les seves propietats com a amplificador i oscil·lador.

Les funcions rectificadores dels cristalls foren descobertes el 1912 pel nord-americà Pickard quan manifestà que els cristalls poden ser utilitzats com a detectors. Al 1912, Armstrong descobrí el circuit reactiu, que permet realimentar una vàlvula amb part de la seva pròpia sortida. Armstrong construí una sòlida base de la qual molts equips moderns de ràdio estan basats.

El 1902 dos físics proclamaren la probable existència d'una capa de gas ionitzat a la ionosfera la qual afectaria a la propagació de les ones de ràdio. Aquesta capa fou batejada amb el mateix nom dels físics: capa Kennelly-Heaviside. I tot i que aquesta capa resulta transparent per les longituds d'ona més curtes, desvia o reflexa les ones majors. Gràcies a aquesta reflexió, les ones de ràdio es propaguen molt més allà de l'horitzó.

La propagació de les ones de ràdio a la ionosfera es veu seriosament afectada per l'hora del dia, la estació i l'activitat solar. Lleus variacions en la naturalesa i altitud de la ionosfera, que tenen lloc a gran velocitat, poden afectar a qualitat de recepció a gran distància. La ionosfera és també la causa d'un fenomen pel qual es rep una senyal des d'un punt molt distà a l'antena d'emissió i no en una altra més pròxim. Aquest fenomen es produeix quan el raig a terra ha estat absorbit per obstacles terrestres i el raig propagat a la ionosfera no es reflexa amb un angle suficientment agut com per ser rebut a distàncies curtes respecte l'antena.

1.- Un circuit ressonant és un circuit elèctric format per una bobina d'inductància L , un condensador de capacitat C i una resistència R , capaç d'entrar en ressonància a una freqüència determinada depenent dels valors de RLC i del tipus de circuit. Diem que

un circuit RLC sèrie (els components connectats entre ells compartint la mateixa intensitat) entra en ressonància quan la reactància capacitiva (capacitància) s'igualava amb la reactància inductiva (inductància). Aquests són els termes que refereixen la "resistència" que presenten els condensadors i inductors (bobines) quan són travessats per corrents alternes (on els pols positiu i negatiu s'alternen amb una freqüència). Perquè el circuit entri en ressonància cal que la freqüència de la tensió aplicada coincideixi amb el valor de la freqüència de ressonància. L'instant en què un circuit ressonant en sèrie entra en ressonància, el valor de la intensitat arriba al seu punt més elevat. Aquests circuits són utilitzats en circuits de ràdio i televisió per filtrar o eliminar determinades freqüències.

Un circuit RLC paral·lel entra en ressonància quan les reactàncies capacitiva i inductiva coincideixen. En l'instant en què ho fan, la impedància (resistència total del circuit) és màxima i la intensitat s'anul·la.

5.4 RÀDIO

És el sistema de comunicació que existeix mitjançant ones electromagnètiques que es propaguen per l'espai. Degut a les seves característiques variables, s'utilitzen ones radiofòniques de diferents longituds per a diferents fins; generalment s'identifiquen per la seva freqüència. Les ones més curtes posseeixen una freqüència (nombre de cicles per segon) més alta, mentre que les ones de baixa freqüència tenen una freqüència més baixa (menys cicles per segon). El nom del pioner alemany de la ràdio Heinrich Hertz ha servit per batejar al cicle per segon (Hertz, Hz). Les ones de ràdio van des d'alguns quilohertz fins a varis gigahertz. Les ones de llum visibles són també ones electromagnètiques i són molt més curtes. En el buit, tota radiació electromagnètica es desplaça en forma d'ones a una velocitat uniforme de 300.000Km per segon, la mateixa velocitat que la llum.

Les ones de ràdio s'utilitzen no solament en radiodifusió, sinó que també en la telegrafia sense cable, la transmissió per telèfon, la televisió, el radar, els sistemes de navegació i la comunicació espacial. A l'espai exterior les característiques físiques del medi ocasionen poques variacions en el moviment ondulatori., mentre que a dins la Terra, les tempestes o tota mena de pertorbacions elèctriques semblants provoquen fenòmens anormals en la propagació de les ones de ràdio.

Les ones electromagnètiques dins d'una atmosfera uniforme es desplacen en línia recta, i com que la superfície terrestre és pràcticament esfèrica, la comunicació radiofònica a llarga distància és possible gràcies a la reflexió de les ones de ràdio a la ionosfera. Les ones radiofòniques de longitud inferior a una 10m, que reben els noms de freqüències molt alta, ultraelevada i superelevada (VHF, UHF i SHF), no es reflexen a la ionosfera; així, a la pràctica, aquestes ones molt curtes només es capten a distància visual. Les longituds d'ona inferiors a uns pocs centímetres són absorbides per les gotes d'aigua o pels núvols; les inferiors a 1,5cm poden quedar absorbides pel vapor d'aigua existent a l'atmosfera neta. Així que les ones radiofòniques que es reflexen a la ionosfera són aquelles amb una longitud superior als 10m.

Els sistemes normals de radiocomunicació consten de dos components bàsics: es transmissor i el receptor. El primer genera oscil·lacions elèctriques amb una freqüència de radio denominada "freqüència portadora". Es pot amplificar l'amplitud o la pròpia freqüència per variar la ona portadora. Un senyal modulat en amplitud (AM) es compon de la freqüència portadora i dues bandes laterals producte de la modulació. La freqüència modulada (FM) produeix més d'un parell de bandes laterals per cada freqüència de modulació, gràcies a les quals són possibles les complexes variacions que s'emeten en forma de veu o qualsevol altre so en la radiodifusió, i en les alteracions de la llum i foscó en les emissions televisives. El receptor, tal com indica el seu nom, detecta les ones produïdes pel transmissor.

5.5 TRANSMISSOR

Els components fonamentals d'un transmissor de ràdio són: un generador d'oscil·lacions per convertir la corrent comuna en oscil·lacions d'una determinada freqüència de ràdio; els amplificadors per augmentar la intensitat de les anomenades oscil·lacions conservant la freqüència establerta i un transductor per convertir la informació a transmetre en un voltatge elèctric variable i proporcional a cada valor instantani de la intensitat.

Altres components importants d'un transmissor de ràdio són el modulador, que aprofita els voltatges proporcionals per controlar les variacions en la intensitat d'oscil·lació o la freqüència instantània de la portadora, i l'antena, que radia una ona portadora igualment modulada. Cada antena presenta certes propietats direccionals, és a dir, que

radia més energia en unes direccions que en altres, però sempre es pot modificar de manera que els patrons de radiació variïn des d'un raig relativament estret fins a una distribució homogènia en totes les direccions; aquest últim tipus de radiació és l'utilitzat en la radiodifusió i és el més convenient per dirigir el robot.

El mètode concret utilitzat per dissenyar i disposar es components depèn de l'efecte buscat. En el robot, per exemple, el sistema interessa que sigui extremadament petit, ja que és com una maqueta, i la seva fidelitat és totalment insignificant ja que no interessa transmetre cap tipus de so, sinó dades, i el seu cost, com més reduït sigui, millor.

5.6 OSCIL·LADORS

En una emissora comercial normal, la freqüència de la portadora es genera mitjançant un oscil·lador de cristall de quars rigorosament controlat. El mètode bàsic per controlar freqüències en la majoria de les emissores de ràdio és mitjançant circuits d'absorció, o circuits ressonants, que posseeixen valors específics d'inductància i capacitància i que per tant, afavoreixen la producció de corrents alternes d'una determinada freqüència i impedeixen la circulació de corrents de freqüències diferents. De tota forma, quan la freqüència ha de ser enormement estable s'utilitza un cristall de quars amb una freqüència natural concreta d'oscil·lació elèctrica per estabilitzar les oscil·lacions. En realitat, aquestes es produeixen a baixa potència a la vàlvula electrònica i s'amplifiquen en amplificadors de potència que actuen com a retardadors per evitar la interacció de l'oscil·lador amb altres components dels transmissors, ja que tal interacció alteraria la freqüència. El cristall té la forma exacta i les dimensions necessàries a fi de proporcionar la freqüència desitjada, que llavors pot ésser modificada lleugerament agregant un condensador al circuit per tal d'aconseguir la freqüència exacta. En un circuit elèctric ben dissenyat, l'oscil·lador no varia més d'un centèsim de l'1% en la freqüència. Si es munta el cristall en buit a temperatura constant i s'estabilitzen les voltatges, es pot aconseguir una estabilitat de la freqüència pròxima a una milionèsima part de l'1%. Els oscil·ladors de cristall resulten de màxima utilitat en les gammes denominades de freqüència molt baixa, baixa i mitja (VLF, LF i MF). Per generar freqüències majors (més de 10MHz) ja s'utilitzen circuits electrònics addicionals i d'altres sistemes elèctrics els quals no resulten d'interès en el robot del projecte.

5.7 MODULACIÓ

Les ones de freqüència han de ser mesclades amb ones portadores per poder ser emeses per la ràdio. És necessari modificar la freqüència (ritme d'oscil·lació) o l'amplitud (altura) mitjançant un procés denominat "modulació". Aquests dos processos expliquen l'existència de dos tipus d'estacions (AM o FM) a la ràdio. Els senyals són totalment diferents, per la qual cosa no es poden rebre simultàniament.

La modulació de la portadora perquè pugui transportar impulsos es pot efectuar a nivell baix o alt. En el primer cas, el senyal de freqüència, amb una petita o nul·la amplificació, serveix per modular la sortida de l'oscil·lador, i la freqüència modulada de la portadora s'amplifica abans de conduir-la a l'antena; en el segon cas, les oscil·lacions de radiofreqüència i el senyal de freqüència s'amplifiquen de forma independent i la modulació s'efectua just abans de transmetre les oscil·lacions a l'antena. El senyal es pot superposar a la portadora mitjançant la modulació de freqüència (FM) o d'amplitud (AM).

El mètode més senzill de modulació és la codificació, interrompent la ona portadora a intervals concrets mitjançant una clau o commutador per formar els punts i les ratlles de la radiotelegrafia d'ona contínua.

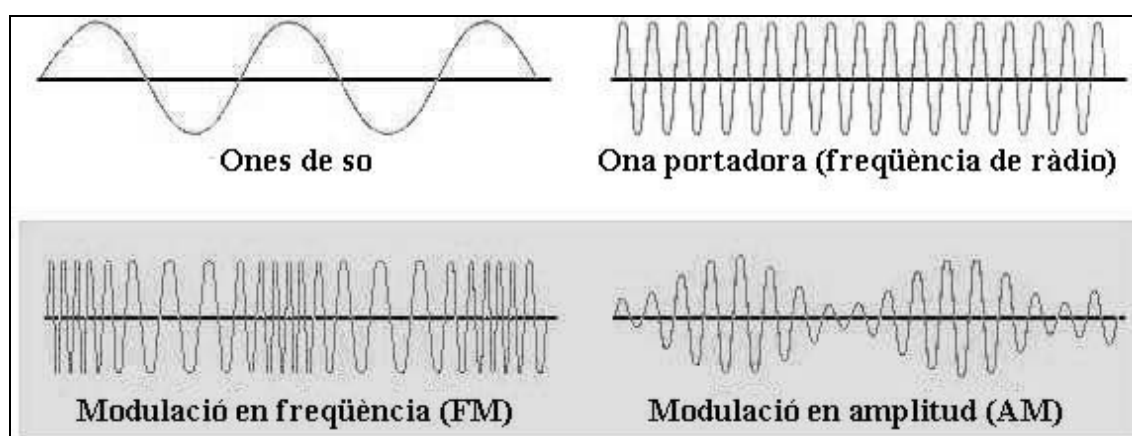
La ona portadora també es pot modular variant la seva amplitud segons les variacions de la freqüència i intensitat d'un senyal sonor, tal com una nota musical. Aquesta forma de modulació, AM, s'utilitza en molts serveis de radiotelefonia, incloses les emissions normals de ràdio. La AM també es fa servir en la telefonia per la ona portadora, en la que un cop modulada es transmet per cable, i en la transmissió d'imatges estàtiques a través de cable o ràdio, o en la transmissió de dades com en aquest projecte.

En la FM, la freqüència de la ona portadora varia dins un rang establert a un ritme equivalent a la freqüència d'un senyal sonor. Aquesta forma de modulació, desenvolupada als anys trenta, presenta l'avantatge de generar senyals relativament nets de sorolls i interferències procedents de fonts tal com els sistemes d'encesa dels automòbils o les tempestes, que afecten en gran part als senyals AM. Per tant, la

radiodifusió FM s'efectua en bandes d'alta freqüència (de 88 a 108MHz), aptes per senyals grans però amb un abast de recepció limitat.

El desenvolupament de la tècnica de transmissió d'ones contínues en petits impulsos d'enorme potència, com és el cas del radar, planteja la possibilitat d'una nova forma de modulació, la modulació d'impulsos en temps, en la que l'espai entre els impulsos es modifica d'acord amb el senyal.

La informació transportada per una ona modulada es retorna a la seva forma original mitjançant el procés invers, denominat "demodulació" o "detecció" i dut a terme pel receptor. Les emissions d'ones de ràdio de freqüències baixes i mitges van modulades en amplitud. Per freqüències més altes s'utilitzen tant la AM com la FM. S'han realitzat alguns experiments en els que tant el so com les imatges s'envien de forma digital a freqüències superaltes (per damunt del rang de les ultraaltes). Aquestes transmissions substituiran algun dia les tècniques actuals de difusió analògica.



Les dues figures anteriors il·lustren d'una manera notable les diferències entre els diferents tipus d'ona utilitzats en la radiodifusió, juntament amb dues figures més (ona de so i ona portadora) per il·lustrar el seu aspecte.

5.8 ANTENES

Una antena és un dispositiu utilitzat per a la captació o producció d'ones electromagnètiques. L'emissió de les ones és aconseguida quan es fa circular un corrent elèctric i un altre de magnètic per l'antena. Llavors es propaguen per l'espai i en el cas de trobar una altra antena, hi indueixen un corrent elèctric similar a l'original.

La antena del transmissor no necessita estar enganxada al mateix transmissor. La radiodifusió comercial a freqüències mitges exigeix normalment una antena molt gran, la ubicació òptima de la qual és de forma aïllada, lluny de qualsevol població, mentre que l'estudi de ràdio es sol situar normalment al centre de la ciutat. La FM, la televisió i les demés emissions a freqüències molt altes exigeixen antenes molt altes si es pretén aconseguir un cert abast i no és aconsellable situar-les a prop de l'estudi d'emissió. En tots aquests casos els senyals es transmeten a través de cables. Les línies telefòniques normals solen ser vàlides per la majoria de les emissions comercials de ràdio; si es precisa obtenir una alta fidelitat o freqüències molt elevades, s'utilitzen cables coaxials (són aquells que duen tot un entrellat de malles metàl·liques que aïllen excel·lentment el conductor i impedeixen l'acoblament de qualsevol altra freqüència evitant així qualsevol tipus d'interferència).

5.9 RECEPTORS

Els components fonamentals d'un receptor de ràdio són: (1) una antena per rebre les ones electromagnètiques i convertir-les en oscil·lacions elèctriques; (2) amplificadors per augmentar la intensitat d'aquestes oscil·lacions; (3) equips per la demodulació; (4) un altaveu per convertir els impulsos en ones sonores perceptibles per la oïda humana (i en televisió, un tub d'imatges, el tub de raigs catòdics, per convertir els senyals en ones lluminoses visibles), i (5) en la majoria dels receptors, uns oscil·ladors per generar ones de radiofreqüència que es puguin mesclar amb les ones rebudes.

El senyal que arriba a l'antena, compost per una oscil·lació de la portadora de radiofreqüència, modulada per un senyal de freqüència àudio o vídeo que conté els impulsos, sol ser molt dèbil. La sensibilitat d'alguns receptors de ràdio moderns és tan gran que només que el senyal de l'antena sigui capaç de produir una corrent alterna d'uns pocs centenars d'electrons, el senyal es pot detectar i amplificar fins produir un so intel·ligible en l'altaveu. La majoria dels receptors poden funcionar acceptablement amb una entrada d'algunes milionèsimes de volt. Tot i així, l'aspecte bàsic en el disseny del receptor és que els senyals molt dèbils no es converteixin en vàlids simplement amplificant, de forma indiscriminada, tant el senyal desitjat com els sorolls laterals (veure Soroll més endavant). Així, l'objectiu principal del dissenyador consisteix en garantir la recepció prioritària del senyal desitjat.

Molts receptors moderns de ràdio són del tipus superheterodí, en el que un oscil·lador genera una ona de radiofreqüència que es mescla amb la ona entrant, produint així una ona de freqüència menor; aquesta última es denomina “freqüència intermitja”. Per sintonitzar el receptor a les diferents freqüències es modifica la freqüència de les oscil·lacions, però la intermitja sempre es manté fixa (a 455KHz per la majoria dels receptors AM i a 10,7MHz pels receptors FM). L'oscil·lador es sintonitza modificant la capacitat del condensador en el seu circuit oscil·lador, i el circuit de la antena es sintonitza de forma similar mitjançant un condensador.

En tots els receptors hi ha una o més etapes d'amplificació de freqüència intermitja; a més, també hi pot haver una o més etapes d'amplificació de radiofreqüència. En la etapa de freqüència intermitja es solen incloure circuits auxiliars com el de control automàtic de volum (el qual funciona rectificant part de la sortida d'un circuit d'amplificació i alimentant amb ella part de la sortida a l'element de control del mateix circuit o d'un altre anterior). El “detector”, anomenat sovint “segon detector” (el primer és el “mesclador”), sol ser un senzill díode de actua de rectificador i produeix un senyal de freqüència àudio. Les ones FM es demodulen o detecten mitjançant circuits que reben el nom de “discriminadors” o “radiodetectors” els quals transformen les variacions de la freqüència en diferents amplituds del senyal.

5.10AMPLIFICADORS

Els amplificadors de radiofreqüència i de freqüència intermitja són amplificadors de voltatge, és a dir, augmenten el voltatge del senyal. Els receptors de ràdio poden tenir una o més etapes d'amplificació de voltatge de freqüència àudio. A més, la última etapa abans de l'altaveu ha de ser d'amplificació de potència. Un receptor d'alta fidelitat conté els circuits de sintonia i d'amplificació de qualsevol ràdio. Com a alternativa, una ràdio d'alta fidelitat pot tenir un amplificador i un sintonitzador independents.

Les característiques principals d'un bon receptor de ràdio són una sensibilitat, una selectivitat i una fidelitat molt elevades i un nivell de soroll baix. La sensibilitat s'aconsegueix en principi mitjançant moltes etapes d'amplificació, però l'amplificació elevada perd el sentit si no es pot aconseguir una fidelitat acceptable i un nivell de soroll baix. Els receptors més sensibles tenen una etapa d'amplificació de

radiofreqüència sintonitzada. La selectivitat és la capacitat del receptor de captar senyals d'una emissora i rebutjar altres emissores diferents que la limiten amb freqüències molt pròximes. La selectivitat extrema tampoc resulta aconsellable ja que es precisa un ample de banda de molts quilohertzs per rebre els components d'alta freqüència dels senyals de freqüència àudio. Un bon receptor sintonitzat a una emissora presenta una resposta zero a una altra emissora que es diferencia en 20KHz. La selectivitat depèn sobre tot dels circuits en la etapa de la freqüència intermitja.

5.11 SISTEMES D'ALTA FIDELITAT

La fidelitat és la uniformitat de resposta del receptor a diferents senyals de freqüència àudio modulades en la portadora. La altíssima fidelitat, que es tradueix en una resposta plana (idèntica amplificació de totes les freqüències àudio) a través de tot el rang audible des dels 20Hz fins els 20KHz, resulta extremadament difícil d'aconseguir. Un sistema d'alta fidelitat és tan potent com el seu component més dèbil, però no només depèn dels circuits del receptor, sinó també de l'altaveu, de les propietats acústiques del lloc on es troba l'altaveu i el transmissor al qual està sintonitzat el receptor. La majoria de les emissores AM no reproduïxen amb fidelitat els sons per sota dels 100Hz o per sobre de 5KHz; les emissores FM solen tenir una gamma de freqüències entre els 50Hz i els 15KHz.

5.12 DISTORSIÓ

En les transmissions de ràdio sovint s'introdueix una forma de distorsió de l'amplitud en augmentar la intensitat relativa de les freqüències més altes de ràdio. En el receptor apareix un factor equivalent d'atenuació d'alta freqüència. L'efecte conjunt d'aquestes dues formes de distorsió és una reducció del soroll de fons o estàtic al receptor. Molts receptors ja van equipats amb controls de to ajustables pel propi usuari, de manera que l'amplificació de les freqüències altes i baixes es pugui adaptar al gust de l'oient. Una altra font de distorsió és la modulació transversal, la transferència de senyals d'un circuit a un altre per culpa d'un apantallament defectuós, és a dir, que el dispositiu que modifica, redueix o suprimeix la transmissió d'una radiació entre dues regions de l'espai no funciona correctament.

5.13SOROLL

El soroll constitueix un problema greu en tots els receptors de ràdio. Hi ha diferents tipus de soroll, com el zumzeig, un to constant de baixa freqüència (unes dos octaves per sota del do), produït generalment per la freqüència de la font d'alimentació de corrent alterna (comunament 50Hz) que es superposa al senyal degut a un filtrat o un apantallament defectuós; el siseig, un to constant d'altra freqüència, i el xiulet, un to net d'alta freqüència produït per una oscil·lació involuntària de freqüència àudio, o per un copeig. Aquests sorolls poden ser eliminats mitjançant un disseny i una construcció adequats.

Tot i així, certs tipus de sorolls no es poden eliminar. El més important en els equips de AM de baixa i mitja freqüència és el soroll paràsit, originat per pertorbacions elèctriques a l'atmosfera. El soroll paràsit també pot provenir del funcionament d'un equip elèctric proper (tals com motors d'automòbils o d'avions), però en la majoria dels casos prové dels llamps. Les ones de ràdio produïdes per aquestes pertorbacions atmosfèriques poden viatjar mils de quilòmetres sense sofrir gairebé cap atenuació, i donat que en un radi d'alguns mils de quilòmetres respecte el receptor sempre existeix alguna tempesta, gairebé sempre apareixen sorolls paràsits. Els sorolls paràsits afecten als receptors FM en un grau menor ja que l'amplitud de les ones intermitges sempre està limitada mitjançant circuits especials abans de la discriminació, la qual cosa elimina els efectes dels sorolls paràsits.

Una altra font primària de soroll és l'agitació tèrmica dels electrons. En un element conductor a temperatura superior al zero absolut, els electrons es mouen de forma aleatòria. Donat que qualsevol moviment electrònic constitueix un corrent elèctric, l'agitació tèrmica origina soroll en amplificar-lo en excés. Aquest tipus de soroll es pot evitar si el senyal rebut des de l'antena és notablement més potent que el del corrent causat per l'agitació tèrmica; en qualsevol cas, es pot reduir al mínim mitjançant un disseny adequat. Un receptor teòricament perfecte a temperatura ordinària és capaç de rebre la veu de forma intel·ligible sempre que la potència del senyal abasti els 4 x 10⁻¹⁸W; tot i així, en els receptors normals es precisa una potència de senyal bastant major.

5.14 FONT D'ALIMENTACIÓ

La ràdio no té components mòbils excepte l'altaveu, que vibra algunes mil·lèsimes de centímetre, per la qual cosa la única potència que requereix el seu funcionament és la corrent elèctrica per fer circular els electrons pels diferents circuits. Quan apareixeren les primeres ràdios als anys vint, la majoria funcionaven amb piles, i tot i que encara avui en dia es continuen utilitzant, la font d'alimentació connectada a la ret elèctrica presenta certs avantatges, ja que dota al dissenyador d'una major llibertat a l'hora de seleccionar els components dels circuits. Però com que en el la part pràctica del projecte interessa una facilitat i comoditat a l'hora de la utilització del robot, s'utilitzaran les piles (i una bateria) com a fonts d'alimentació, ja que no es necessita més corrent. Amb l'arribada dels transistors, els circuits integrats i altres dispositius electrònics en estat sòlid, els quals són molt més reduïts i tenen un consum de molt poca potència, és possible el funcionament de tot un circuit amb una potència molt baixa.

5.15 RÀDIO D'ONA CURTA

Aquest terme es refereix generalment a les a emissions de ràdio en la gamma de freqüències elevades (de 3 a 30MHz) les quals cobreixen grans distàncies, especialment en l'entorn de les comunicacions internacionals. Tot i així, la comunicació mitjançant microones a través d'un satèl·lit de comunicacions proporciona senyals de major fiabilitat i lliures d'error.

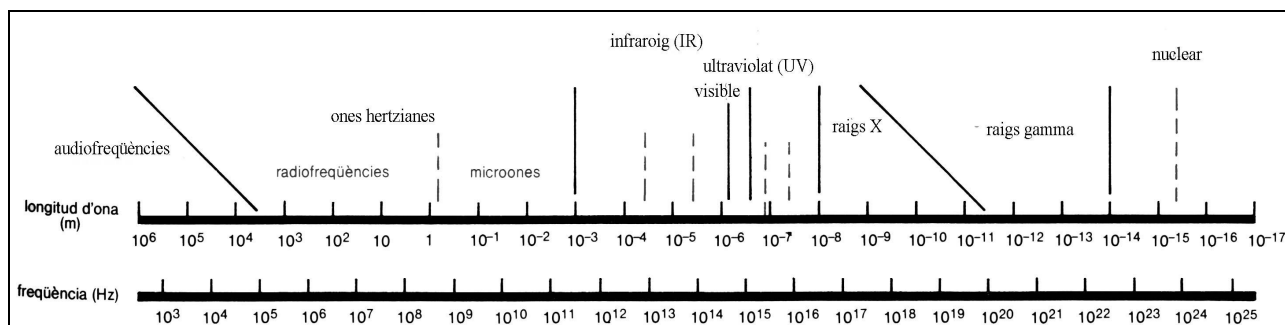
Generalment es sol associar els radioafecionats amb la ona curta, tot i que tenen també assignades freqüències en la banda d'ona mitja, la de molt alta freqüència i la de ultraalta (en el projecte es treballa a una freqüència de 433,92MHz, UHF).

5.16 ESPECTRE ELECTROMAGNÈTIC

Constitueix el conjunt de totes les ones electromagnètiques conegudes. L'espectre electromagnètic és dividit, per conveni, en diferents dominis espectrals o bandes, l'amplada dels quals varia d'uns convenis a uns altres, però hom emprà generalment una divisió formada per l'espectre visible, l'infraroig, l'ultraviolat, l'hertzià, el de raigs X i el de raigs gamma.

L'espectre d'una radiació electromagnètica (conjunt de les ones electromagnètiques de longitud d'ona única i ben definida, que componen una radiació electromagnètica) és compost per un seguit, continu o discontinu, d'ones de l'espectre electromagnètic.

L'esquema següent mostra tots els tipus d'ones electromagnètiques segons la seva longitud d'ona i freqüència:



En la part visible de l'espectre hi són compresos tots els colors, començant pel vermell amb una longitud d'ona llarga i acabant en el violeta amb la ona de curta longitud.

Pel que fa a les radiocomunicacions, la taula següent amplia la part de radiofreqüències de l'esquema anterior mostrant les denominacions de les diferents bandes de radiofreqüències segons el conveni internacional:

Freqüència	Símbol	Denominació	Ordre de dimensió de les ones	Longitud d'ona
3KHz	VLF	molt baixa freqüència		100Km
30KHz	LF	baixa freqüència	quilomètriques	10Km
300KHz	MF	mitjana freqüència	hectomètriques	1Km
3MHz	HF	alta freqüència	decamètriques	100m
30MHz	VHF	molt alta freqüència	mètriques	10m
300MHz	UHF	ultraalta freqüència	decimètriques	1m
3GHz	SHF	superalta freqüència	centimètriques	10cm
30GHz	EHF	extrema alta freqüència	mil·limètriques	1cm
300GHz				1mm

6.0 DISSENY I MUNTATGE DEL WAITER BOT

En aquest capítol comença la part pràctica de projecte: el disseny i la construcció del microbot. Aquí es veuen reflectits tots els conceptes teòrics exposats en els capítols anteriors, i a més de veure'ls aplicats en el microbot també complementen i conclouen el seu aprenentatge.

Aquest capítol inclou tot el disseny dut a terme per construir el robot, des de càlculs mecànics i construcció de dispositius adequats fins a la pròpia programació de la “intel·ligència” del microbot.

6.1 DESCRIPCIÓ GENERAL DEL MICROBOT

L'objectiu del microbot és respondre a les ordres transmeses des d'un “joystick” usual i corrent d'ordinador de manera que es pugui desenvolupar en un espai com si es tractés d'un cotxe teledirigit, i al mateix temps que ho fa, també ha de poder dur una plata amb una beguda com si es tracés d'un cambrer. Evidentment la beguda no es pot vessar, ja que podria perillar la feina del cambrer (en el cas d'una persona), o els seus circuits electrònics, en el cas del microbot. La particularitat que ha de tenir per fer-ho és que el mateix robot ha de ser capaç de detectar l'angle d'inclinació de la superfície on es trobi i compensar-lo mitjançant el moviment de quatre barres les quals suporten la plata.

El WaiterBot està compost principalment d'una estructura metàl·lica, ja que ha estat construït a partir de dos “kits” de muntatge de la casa Meccano: el Evolution 1 i el Bulldozer concretament. Aquesta estructura constitueix el seu esquelet principal. Degut a material de què està fet, acer, resulta una mica pesat, però pel contrari, el microbot adquireix una rigidesa de constitució inigualable. A més, l'avantatge de ser un joc dissenyat per construir mots tipus diferents de vehicles és de consideració, ja que d'aquesta manera es guanya molt en versatilitat i llibertat a l'hora de construir el microbot.

Com que en algun cas que no s'ha pogut obtenir la peça adequada, s'ha vist convenient de deformar alguna altra peça sobrant a fi d'obtenir-ne una altra ja més convenient. De manera que el microbot també és muntat amb certes peces fetes a mida.

A part dels “kits” de muntatge de Meccano, el microbot també és compost de mecanismes de plàstic, com ho és tot el sistema d’engranatges muntat per transmetre el moviment circular dels 4 motors superiors en moviments rectilinis gràcies a una cremallera, per exemple, i així obtenir l’efecte desitjat d’estabilització de la plata.

6.2 FUNCIONAMENT DEL MICROBOT

En aquesta secció s’exposen en detall les entranyes del WaiterBot juntament amb les funcions-objectiu a les quals es destinen els diferents mecanismes del robot.

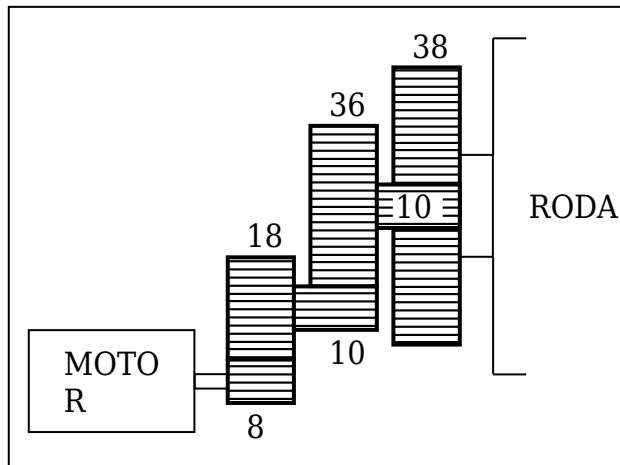
6.2.1 Desplaçament i moviment del microbot: els servomotors i les rodes motrius

Els servomotors són uns mecanismes compostos per uns motors de CC acoblats a un tren d’engranatges que permeten moure el microbot. Degut al poc parell absolut que un motor de CC pot proporcionar, aquest és aplicat a una sistema d’engranatges reductors els quals, aprofitant la enorme velocitat dels motors, la redueixen en gran part transformant així la rapidesa en força. Aquesta relació és inversament proporcional, és a dir, si d’un motor en reduïm la velocitat de revolució a la meitat, el seu parell queda augmentat el doble.

Els motors de CC que incorporen els servomotors utilitzats corresponen a uns models de la casa japonesa Mabuchi. Aquests motors són els utilitzats normalment per rebobinar les pel·lícules de les càmares fotogràfiques Polaroid. Originàriament els servomotors del microbot formaven part d’una joguina, i la seva estructura és en principi no modificable. De manera que s’aprofita íntegrament la estructura original dels servomotors.

Pel que fa a la seva velocitat de revolució, s’han dut a terme proves en buit per determinar el nombre de voltes que gira el motor en un minut (rpm) a una determinada tensió determinada d’alimentació.

L’esquema següent exposa les característiques dels motors juntament amb el sistema d’engranatges (el nombre que acompanya cada engranatge correspon al seu nombre de dents) als quals es troben acoblats (cada motor té el seu tren d’engranatges independent):



Per calcular la variació de velocitats que es produeixen en el sistema reductor dels servomotors, s'utilitza la següent igualtat:

$$\text{Revolucions motor} \cdot \text{Dents engranatges conductors} = \text{Revolucions sortida} \cdot \text{Dents engranatges conduïts}$$

Segons un test dut a terme al motor, a 4v gira a una velocitat de 7.600rpm. Per tant, la roda de sortida del tren d'engranatges

reductors gira a una velocitat de:

$$7.600 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 10 = x \cdot 18 \cdot 36 \cdot 38$$

$$x = 247\text{rpm}$$

Finalment, es pot establir una relació de reducció de gairebé 31:1, això vol dir, que per cada 31 voltes que fa el motor, la roda en fa 1.

Gràcies al test dut a terme als motors de CC dels servomotors es pot trobar el seu parell visitant la pàgina web del fabricant Mabuchi o la pàgina del Concurs de Robòtica LEGO del MIT (Institut Tecnològic de Massachusetts). Efectivament s'hi pot trobar un motor d'igual característiques (7.600rpm a 4v) el qual presenta un parell motor en arrencada (el moment més dur del motor ja que és quan ha de posar en moviment tot el pes del microbot) de 295g·cm. De manera que el parell que acaba resultant per una reducció de 31:1 a les rodes motrius és el següent:

$$\text{Parell} = 295\text{g}\cdot\text{cm} \times 31 = 9.145\text{g}\cdot\text{cm} = 9,145\text{Kg}\cdot\text{cm}$$

Com que les rodes tenen un radi de 3cm, cada servomotor és capaç de vèncer un pes de 3,05Kg. Aquest valor es determina per la llei mecànica de moments prenent els Kg de pesos com a forces:

$$M = F \cdot S \quad \rightarrow \quad F \cdot 3\text{cm} = 9,145\text{Kg} \cdot 1\text{cm} \quad \rightarrow \quad F = 3,05\text{Kg}$$

De manera que no hi hauria d'haver cap mena de problema (en teoria) amb els motors motrius del microbot per moure tot el pes que resulti el producte final, ja que 3Kg en un microbot de la mida d'una maqueta són difícils d'aconseguir, tot i que el WaiterBot d'aquest projecte no resultarà un robot precisament lleuger tampoc.

Les rodes motrius que doten de moviment al microbot han de ser controlades acuradament si es vol obtenir un domini satisfactori de robot quan estigui en moviment. Per aconseguir-ho, en aquest projecte s'utilitza la tècnica de la modulació de l'amplada d'impulsos al motor anteriorment descrita.

Primerament s'exposa la velocitat lineal màxima de les rodes en el seu punt més eficient de treball. Donat que el diàmetre de les rodes és de 57mm, la longitud de la seva circumferència és de 179mm ($L = \pi d$). Si també es sap que la velocitat de revolució de les rodes és de 247rpm (7.600/31), podem deduir també la seva velocitat lineal, doncs és de 44.213mm/min, o bé, de 0,737m/s.

Ara bé, per ampliar les seves possibilitats directives, en el moment que dos dels pulsadors integrats al "joystick" s'activen, creant així una posició diagonal, el robot efectuarà un gir mentre es desplaça. De manera que les velocitats de les dues rodes motrius han de ser diferents a fi d'aconseguir aquest efecte. En el moment de gir del microbot, la diferència de potencial aplicada a una de les rodes quedarà reduïda a la meitat.

La distància que separa les dues rodes és de 105mm. Per tant, és possible plantejar la igualtat següent a fi de calcular el radi de curvatura del viratge:

Prenent la equació de moviment rectilini uniforme d'un mòbil: $S = v \cdot t$, amb $S = 2\pi r$.

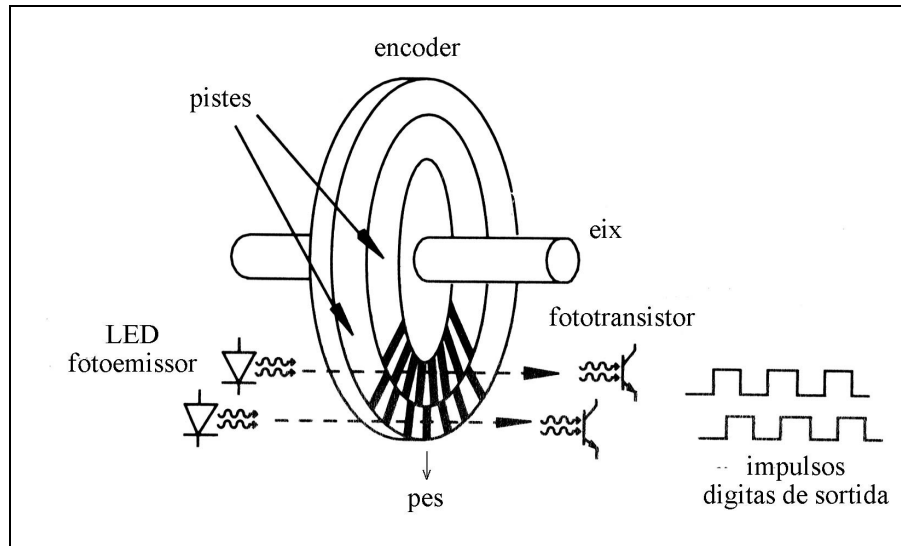
Si s'aplica la fórmula per a cada roda i s'aïlla el temps la fórmula resultant és la següent:

$$2\pi r / v = 2\pi (r-0,105) / v/2$$

Resolent la equació plantejada aïllant "r" es dedueix que el radi de curvatura és de 0,210m o bé 210mm.

6.2.2 Sistema de detecció d'inclinació: els encoders

El sistema que el robot integra per detectar l'angle d'inclinació on es trobi es basa en la disposició estratègica de dos optoacobladors (circuit integrats per un LED emissor i un fototransistor) al voltant d'un disc pintat amb bandes transparents i opaques (encoder) tal com mostra la figura següent:



L'eix que travessa l'encoder es troba en un pla horitzontal al robot i el disc té en un punt un petit pes que sempre el manté en direcció a la gravetat i perpendicular al robot, en el cas que aquest es trobi en una zona

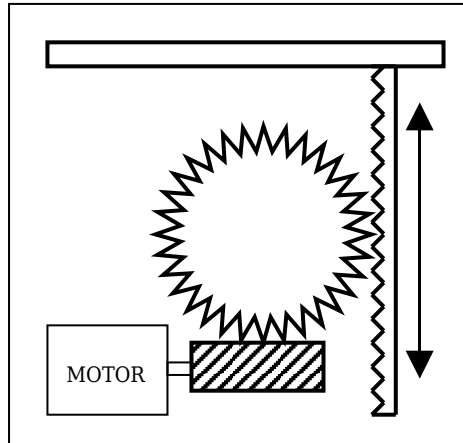
plana. La disposició estratègica dels optoacobladors consisteix en disposar-ne un lleugerament més avançat que l'altre de manera que quan el robot s'inclini, com que els encoders estan sempre en una mateixa posició (direcció el centre de la Terra), un optoacoblador sempre detectarà una transició abans que l'altre, i el robot aprofitarà aquest fet per establir un sentit de gir de l'encoder i així poder compensar l'angle d'inclinació adequadament. Aquest tipus d'encoders són els anomenats "encoders incrementals".

Disposant un encoder en l'eix d'abscisses i un altre en el d'ordenades s'aconsegueix una detecció total de qualsevol inclinació en el pla del robot.

Els encoders construïts en aquest robot han estat fets per detectar transicions de 5°, és a dir, cada encoder té 72 divisions fetes. Si el pendent al qual el robot està accedint no supera 5° respecte la posició anterior els encoders no detectaran cap transició.

6.2.3 Estructura de suport de la plata

La plata del microbot és suportada per 4 barres amb forma de cremallera, engranades a continuació amb una roda dentada i finalment a un cargol sense fi transmissor de la potència. L'esquema següent mostra el sistema muntat:



Quan el microbot a través dels encoders detecta una inclinació, activa els motors laterals corresponents per desplaçar les barres dentades amunt o avall convenientment.

La roda dentada acoblada al cargol sense fi té un diàmetre de 60mm i és dotada de 58 dents. Degut a la seva col·locació, ocasiona un reducció de 58:1. Això

vol dir que el motor necessita fer 58 voltes perquè l'engranatge en faci una.

Les barres que permeten el moviment lineal de l'engranatge mesuren 10cm i tenen 32 dents. Es pot clarament veure que l'engranatge no donarà mai una volta completa.

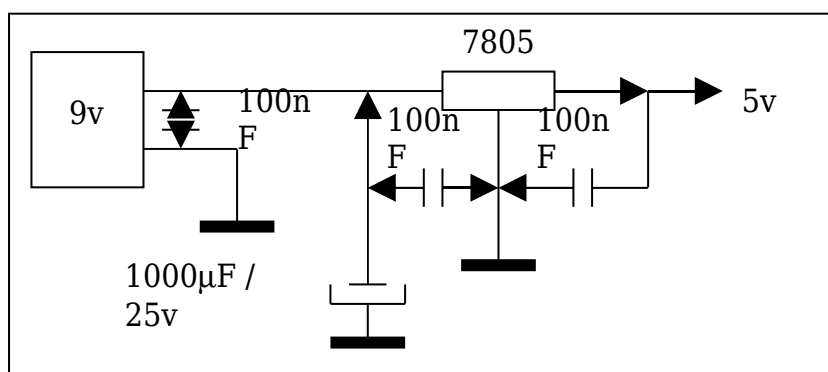
Per cada dent que l'engranatge giri, la barra es desplaçarà una dent amunt o avall. Això significa $10/32\text{cm}$. Donat que la separació en l'estructura del microbot entre les dues barres posteriors i les anteriors és de 17,5cm, aquesta variació de posició de $10/32\text{cm}$ representen un angle d'inclinació de $1,02^\circ$. Per tant, cada vegada que es detecti una inclinació per mitjà dels encoders, donat que ells mesuren transicions de 5° , s'ha d'aconseguir desplaçar la barra 5 dents (corresponents als 5° d'inclinació per la compensació). En el cas de que la inclinació es produeixi per un desnivell lateral, la separació entre les dues barres de l'esquerra i les dues de la dreta és de 9,5cm, una variació de $10/32\text{cm}$ ocasiona una inclinació de $1,88^\circ$. Com que els encoders també detecten variacions de 5° de desnivell, matemàticament s'haurien de desplaçar 2,65 dents.

Els motors a 4v (tensió a la qual treballen) revolucionen a 13.500rpm. Si s'aplica la reducció produïda pel muntatge del cargol sense fi motriu a l'engranatge conduït obtenim 233rpm. L'engranatge de 60mm gira a una velocitat lineal de 0,73m/s, que és la mateixa velocitat de desplaçament de microbot, de manera que no hauria de tenir

cap problema de falta de temps per compensar cap angle d'inclinació mentre el robot es troba en moviment.

6.2.4 Fonts d'alimentació dels circuits del microbot

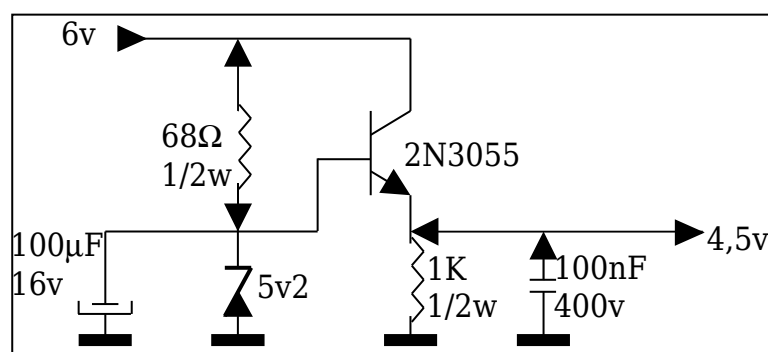
El microcontrolador PIC16F84 (cervell del robot) és un microxip integrat que treballa a 5v, però en cap de les dues plaques es disposa de cap font d'alimentació amb aquest voltatge. De manera que ha d'haver-hi un sistema per convertir la tensió d'entrada a les plaques (9v pel circuit emissor i 6v pels circuits del microbot) en una tensió estable i adequada pel microcontrolador.



Aquest circuit correspon a la font d'alimentació de l'emissor d'ones de ràdio i disposa d'un CI, el 7805, el qual és l'encarregat de regular la tensió de sortida a 5v i estabilitzar-la. A més,

també disposa d'uns components auxiliars. El component marcat com 1000µF / 25v correspon a un condensador electrolític el qual estabilitza la tensió regulada pel 7805. Aquest condensador poleix la tensió de sortida evitant les variacions de tensió i atenuant qualsevol arrissat de la ona de tensió. La resta de components marcats com a 100nF també corresponen a condensadors, tot i que aquest cop són ceràmics i són utilitzats per desparasitar. Cal observar en aquest circuit que no només es desparasita el CI, sinó que també es fa al corrent de la bateria ja que la tensió de 9v d'entrada és utilitzada posteriorment per alimentar el CI emissor d'ones electromagnètiques.

L'esquema següent correspon a la font d'alimentació de la placa del robot:



Degut a que s'han d'alimentar sis motors de CC es necessita una font d'alimentació capaç de proporcionar una intensitat suficient per així evitar problemes amb la circuiteria electrònica per falta de corrent.

En aquest circuit la tensió d'entrada a regular i estabilitzar a 5v correspon a la tensió obtinguda des de la bateria, és a dir, 6v. Per fer-ho s'utilitza un transistor de potència, el 2N3055, el qual permetrà disposar de fins a 15A d'intensitat per així poder alimentar sense problemes els sis motors de CC els quals disposa. Cada motor està limitat a una intensitat de 0,5A, 3A en total, més una mica més de circuiteria de control i recepció d'ones de ràdio. De manera que amb els 4A que la bateria pot oferir ja és suficient per cobrir les necessitats del robot.

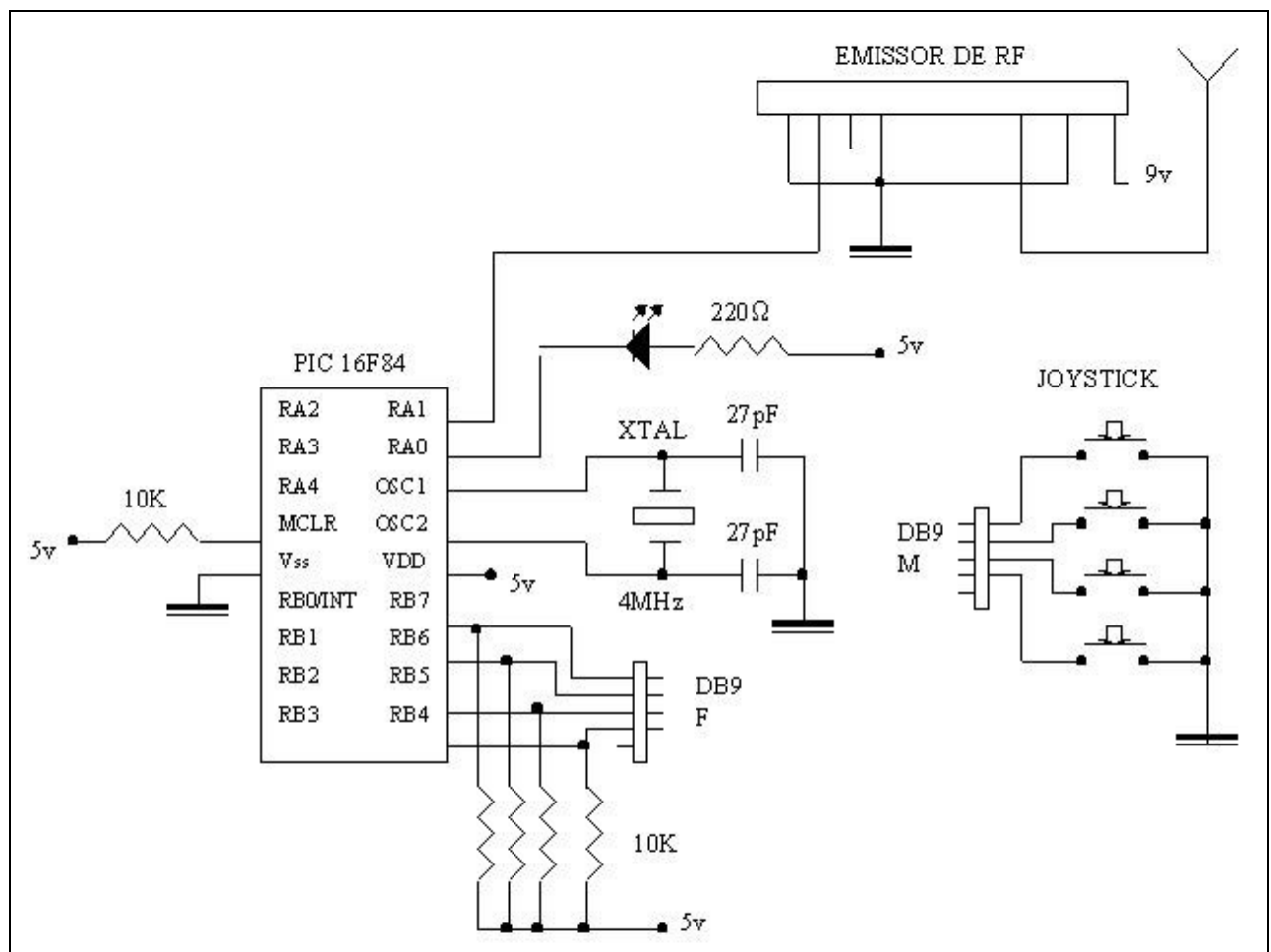
6.2.5 Transmissió i recepció d'informació

El sistema de control de direcció del microbot es realitza a partir d'un joystick el qual transmet un codi determinat al robot, i aquest, un cop ja ha rebut el codi transmès efectua el moviment adequat.

Com que aquesta transferència d'informació s'efectua per mitjà d'ones electromagnètiques és molt freqüent de tenir interferències i falsos senyals els quals impedeixen una comunicació nítida dels codis concrets, i per tant la total informació que el robot rep no és absolutament vàlida, sinó que el robot haurà de realitzar un depurat de tots els senyals per distingir el vàlid i realitzar el moviment correcte. La transferència d'informació s'efectua per mitjà de dos mòduls de la casa CEBEK (concretament el C-0503 i el C-0504) els quals transmeten i detecten ones de ràdio modulades en amplitud (AM) a una freqüència (portadora) de 433,92MHz. La freqüència de transferència de dades del circuit del joystick al circuit receptor del robot es determina que és de 0,5KHz. Dins aquesta freqüència es transmeten els diferents bits que componen el paquet de codi complet que interessa que es transmeti. Per tal d'assegurar una bona transmissió és interessant utilitzar un codi de seguretat, el qual en el cas d'aquest projecte és de 16 bits, els quals sumats a 8 bits més concrets de cada direcció constitueixen el paquet de 24 bits transmès cada vegada que és necessari d'enviar una nova direcció. Pel que fa al codi concret de cada direcció, els 8 bits utilitzats corresponen a un dels 9 possibles estats de moviment del microbot. El circuit va enviant 1 seqüencialment i depenent de la direcció que interressi transmetre acaba la seva cadena més aviat o més tard. La taula següent exposa les diferents direccions en funció de la longitud de 1 de la cadena del codi concret:

Direcció	Codi	Direcció	Codi
Quiet	11111111	S	11100000
N	11111110	SO	11000000
NE	11111100	O	10000000
E	11111000	NO	00000000
SE	11110000	-	-

A continuació es mostra el circuit emissor d'ones de radiofreqüència. El diagrama de funcionament del seu PIC es troba més endavant, juntament amb el diagrama del PIC

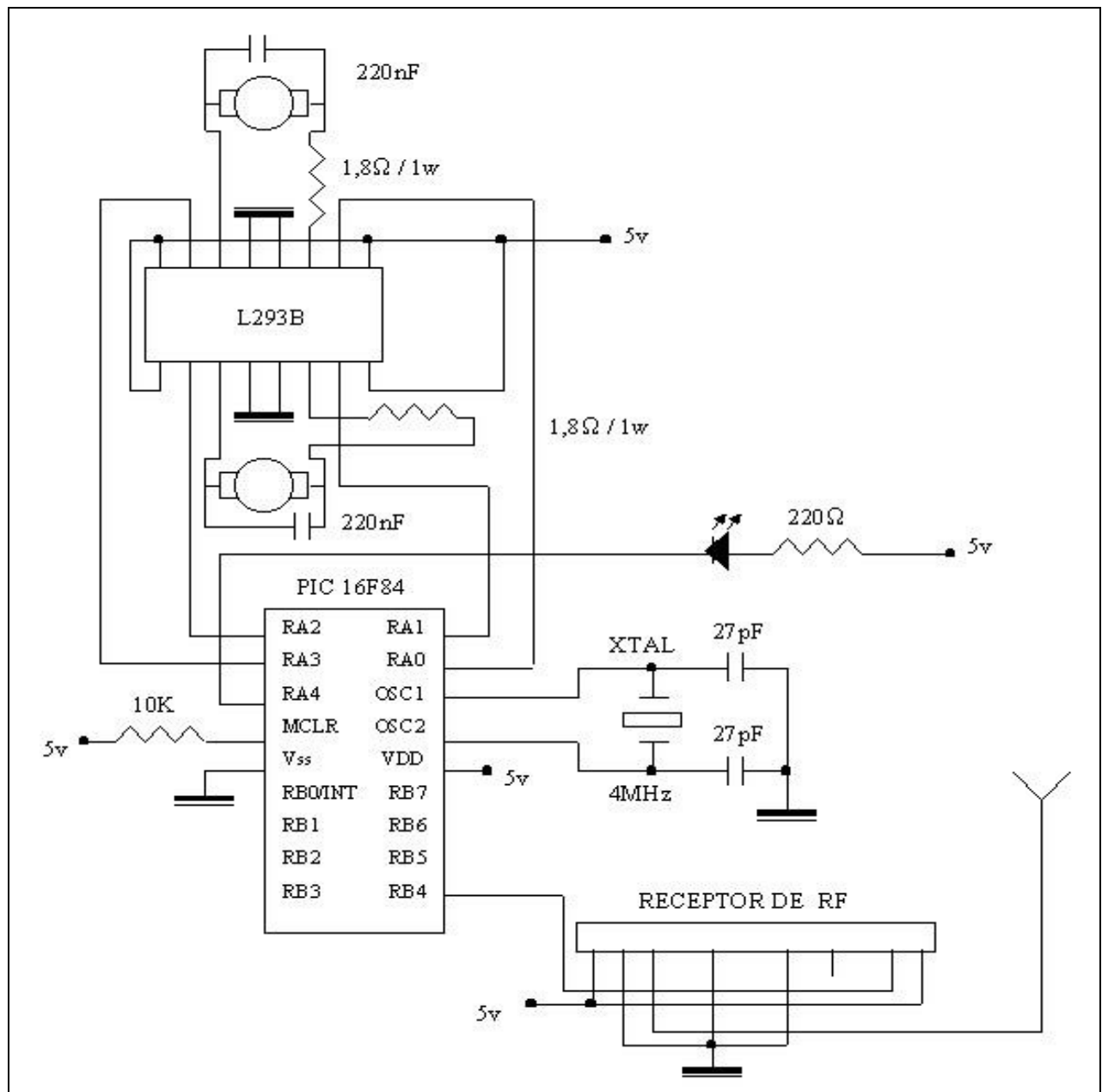


receptor.

Per veure el programa del microcontrolador de l'emissor amb més detall, l'Annex A d'aquest treball l'exposa i el comenta breument.

Un cop el paquet de 24 bits és irradiat a l'espai s'espera que el receptor es trobi dins l'abast d'emissió del transmissor de manera que el robot pugui rebre les dades sense dificultats i pugui efectuar els moviments adequats.

En aquest projecte s'ha preferit no utilitzar materials addicionals electrònics per filtrar i polir les ones que arriben al receptor i provoquen interferències, ja que els mateix component de CEBEK ja integra un certs elements que aconsegueixen aquest objectiu. Concretament, abans de produir un impuls elèctric, el receptor fa passar les ones per un amplificador de radiofreqüència. A continuació, per mitjà d'un detector d'amplitud modulada (AM) detecta els bits d'informació de dades transmesos dins la ona portadora, i finalment, amb un comparador acaba de produir l'impuls elèctric. A continuació es mostra el circuit receptor:

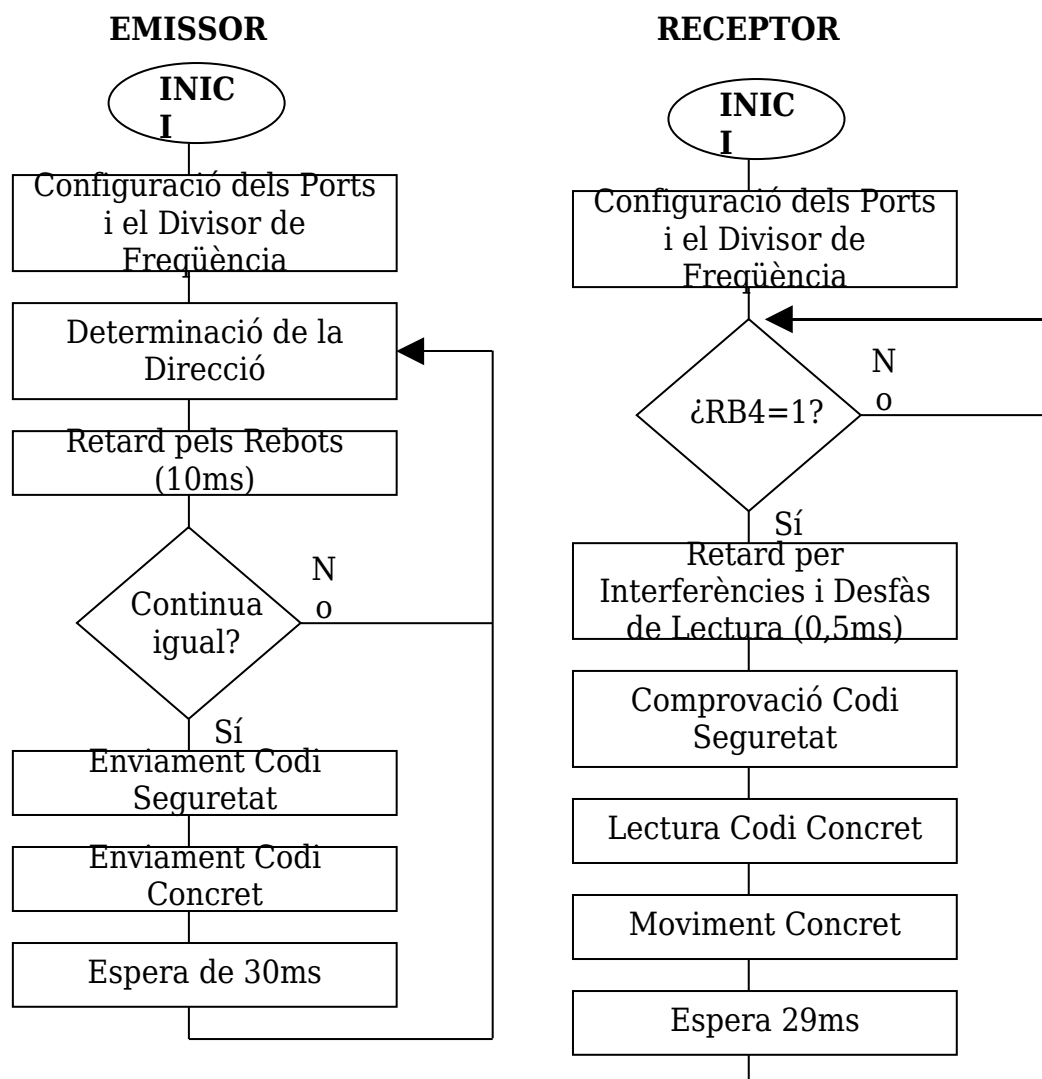


Tot aquest procés ofereix una alta nitidesa en la radiocomunicació, tal com s'ha pogut comprovar amb l'oscil·loscopi, però en l'entorn exterior existeixen una infinitat de factors els quals seran detectats pel receptor, i encara més en AM ja que aquesta ona

és molt vulnerable i propensa a ser modificada. Per això és absolutament necessari la utilització del codi de seguretat, el qual és enviat en cada paquet de dades, i cada paquet, alhora, és enviat 30ms després de la última emissió.

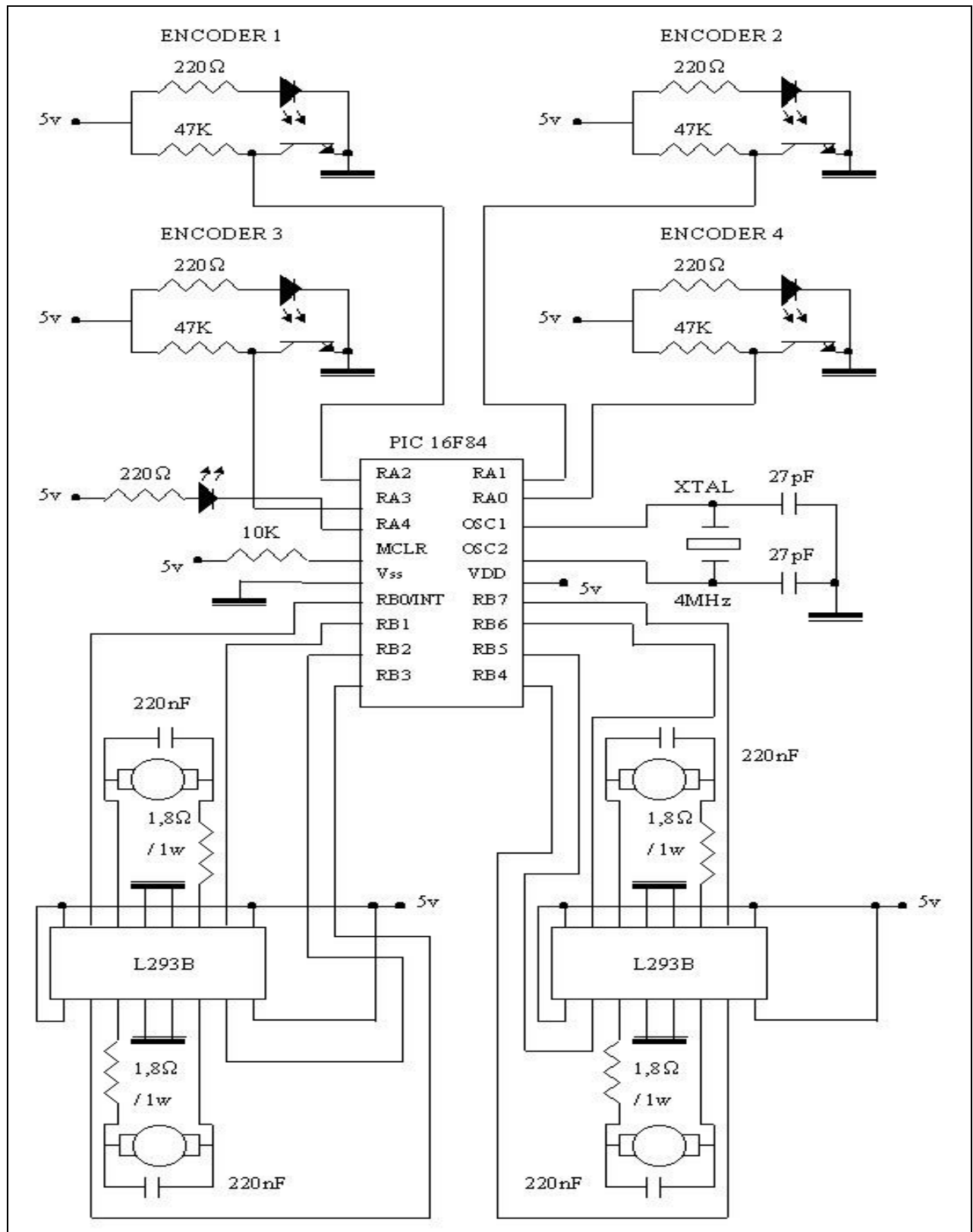
L'Annex B d'aquest treball exposa el programa complet i detallat del microcontrolador receptor, acompanyat de breus comentaris per guiar el lector a través del seu contingut.

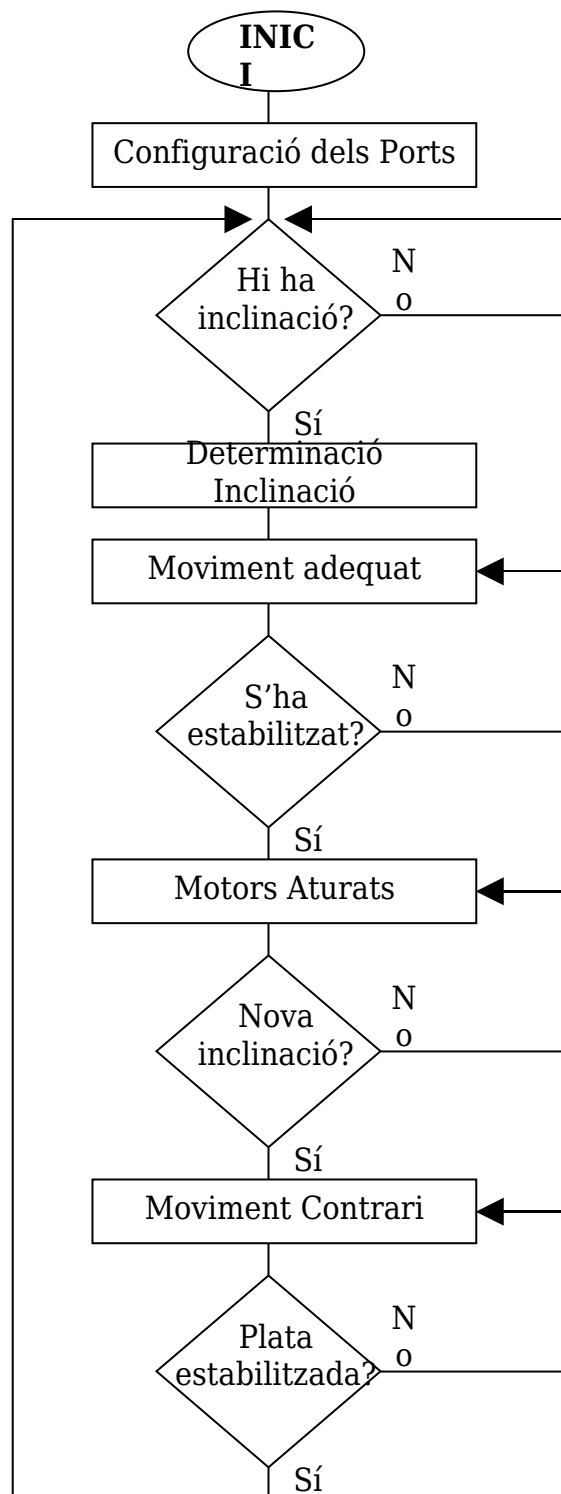
A continuació s'exposen paral·lelament els diagrames de funcionament dels PICs dels circuits emissor i receptor.



6.2.6 Estabilització de la plata

L'últim circuit del robot correspon al d'estabilització de la plata, i igualment és exposat amb el seu esquema electrònic juntament amb el seu diagrama de funcionament.





Per més detalls sobre el programa de funcionament del PIC del circuit estabilitzador de la plata consultar l'Annex C.

6.3 OBSERVACIONS: DEFECTES I POSSIBLES MILLORES

En aquest apartat s'analitza objectivament i empíricament el producte final del microbot, citant tots els errors que presenta, la causa d'aquests errors i possibles millores que es podrien aplicar en un microbot igual que el WaiterBot si es construís de nou, de manera que acomplís a la perfecció la seva tasca de dur una beguda sense vessar-la sobre qualsevol superfície. Com que el WaiterBot es tracta d'un prototip de microbot, al principi tot semblava bastant clar sobre com acabaria, però a mesura que el projecte s'ha anat desenvolupant han aparegut nous aspectes a cobrir, resultant al final un microbot el qual teòricament està ben enginyat però a la pràctica no funciona tal com era en un principi previst.

Primerament cal citar que el WaiterBot és una màquina molt pesada. El pes és un factor contrari en la majoria de microbots, ja que els motors que els han de moure acostumen a ser de petita potència. En el WaiterBot, tot i que en principi es comptava amb força suficient per part dels motors per arrossegar-lo, ha resultat al final que amb prou feines es desplaça per una superfície horitzontal, de manera que no queda cap esperança que pugui pujar cap mena de pendent. Potser els motors, com que abans formaven part d'una joguina, ja han estat molt usats i ja no conserven les seves característiques com al principi, o potser les dades dels motors trobats a Internet no corresponien exactament amb els models extrets de la joguina. De tota manera, de cara a una pròxima construcció, per tal d'augmentar el parell de les preses de sortida dels motors es podrien aplicar uns altres engranatges exteriors abans de ser connectats a les rodes, així que es reduís encara més la velocitat i augmentés el parell de sortida de les rodes. O bé, també es podria canviar els motors per uns altres de més potents. Tant una opció com l'altra com la combinació d'ambdues serien vàlides per millorar el microbot.

Un problema semblant es produeix en els motors estabilitzadors de la plata: la seva reducció encara continua sent massa gran i a l'hora de vèncer el fregament de les barres dentades amb el microbot i aixecar es pes dipositat a sobre de la plata els motors no poden acomplir la seva missió. Les possibles millores per aquest fet coincideixen amb les del problema anterior, ja que al cap i a la fi, el problema és el mateix.

Pel que fa a la radiocomunicació entre el joystick i el microbot es pot observar que tot i haver-hi aplicat un llarg codi de seguretat de 16 bits per assegurar la no interferència amb agents exteriors encara es produeixen interferències les quals impossibiliten la perfecta i exacta transmissió de les direccions, però en una aplicació com un microbot ja són força bons els resultats obtinguts. A més, pel que es pot observar en altres microbots, sempre existeixen petites interferències que fan que les radiocomunicacions no siguin 100% fiables. Això es deu al funcionament tan pròxim que el receptor de radiofreqüència té de motors de CC. Un motor elèctric és molt propens a produir espurnes, tal com s'ha explicat en la part teòrica, i per tant propagacions esporàdiques d'ones electromagnètiques, per això és imprescindible la utilització dels condensadors comunament anomenats "apagaespurnes" tal com s'ha fet al projecte. Però cal tenir en compte que la totalitat de les guspies no són atenuades pel condensador, sinó una gran majoria d'elles, i en el WaiterBot concretament, 6 motors són els que funcionen. Per tant, sempre hi ha alguna espurna que es produeix, i per tant la radiació d'ones electromagnètiques que genera es mescla amb la ona AM portadora (fàcilment modificada) dels bits d'informació i produeixen efectes no desitjats. La solució més factible seria la d'allunyar els motors del receptor per així evitar la interacció de les guspies que produeixen els motors amb la ona de radiofreqüència portadora, però ja que es tracta d'una màquina íntegra en la seva estructura, aquesta solució no és possible. Tot i que, millorant la potència dels motors o disminuint encara més la seva reducció ja constituiria una millora en la radiocomunicació, ja que com menys pateix el motor a l'hora d'arrossegat el microbot, és a dir, que pot augmentar la seva velocitat, disminueix la intensitat o corrent que el flueix, és a dir, que el nombre d'electrons en moviment és més reduït i per tant les guspies que es poden produir també es redueixen.

I finalment s'exposen els problemes amb els encoders. A causa de la seva construcció i per causes de fregament de vegades no són fiables. A més dels encoders, els optoacobladors que integren, com que no s'ha trobat millor sistema de fixació que la plastilina a causa de la delicadesa que es requereix d'acord amb la seva ubicació, és freqüent patir les conseqüències d'algun possible desnivell o d'alguna variació en la seva posició. A causa d'aquest problema, és possible activar uns motors perquè moguin la plata amunt o avall d'acord amb algun desnivell i després no trobar cap indicació d'aturament, resultant finalment amb la caiguda de la plata i la conseqüent pèrdua de

la beguda. Per tal de millorar aquest problema, existeixen una aparells anomenats “inclinòmetres” els quals indiquen a la perfecció l’angle d’inclinació on es trobin. Al capdavant es basen en els mateix principi que els encoders del WaiterBot, també integren un encoder graduat subjecte a la força de la gravetat per un pes. Aquests dispositius ofereixen una precisió d’un grau o fins i tot de menys d’un grau, tot i que els seu preu excedeix els preus previstos per la construcció del WaiterBot, i a més, a nivell de microbòtica potser no seria possible aplicar aquests indicadors degut a les seves dimensions, però sí ho fora amb màquines més grans com robots industrials.

Al final del projecte el preu total dels materials per construir el WaiterBot ha estat més o menys de 150,25E (25.000pts), sense comptar les rodes i els servomotors motrius perquè ja es disposaven, sinó ja es poden sumar 42,07E (7.000pts)més.

Una última consideració caldria fer al voltant de les construccions electròniques en general: sempre que es decideixi realitzar algun projecte electrònic, és molt aconsellable que les plaques i circuits electrònics es trobin molt ben desenvolupats per així evitar el mínim d’errors possibles. Una important millora que sempre es pot fer en qualsevol circuit muntat en una placa de quadres com es del projecte és fer-ho en forma de circuit imprès, és a dir, com qualsevol circuit que es pot trobar dins un aparell electrònic. Els circuits impresos es caracteritzen per ser absolutament plans, ja que els munts d’estany per unir els components entre si en els circuits de les plaques de quadres no s’utilitzen, sinó que en canvi es fan servir pistes de coure molt més segures i fiables. Tot i que els circuits impresos requereixin més formació per part del ser dissenyador (s’han de tenir uns certs coneixements sobre com s’han de disposar les pistes, les seves amplades, longituds, separacions, corbes, etc.) i impliquin una feina més laboriosa a l’hora de fer-les (insolació de plaques polaritzades, posterior neteja amb àcids, perforació, etc.) els resultats sempre són més elaborats i polits. Però davant la falta de material per crear circuits impresos, aquest projecte s’ha decidit fer-lo a partir de plaques de quadres ja perforades.

7.0 CONCLUSIONS

Les conclusions que es poden desprendre d'aquest treball un cop l'he realitzat poden ser una mica confuses ja que el treball en si tampoc no té una hipòtesi clarament definida com per decidir si es prova positiva o no.

Al meu propi parer, la hipòtesi plantejada, o més ben dit el repte que em vaig proposar s'ha aconseguit, ja que en aquests moments, gràcies a que he desenvolupat el projecte, tot i que no funciona correctament, tinc uns coneixements envers els microbots (incloent evidentment coneixements en electrònica bàsicament) que em permeten moure'm dins el món de la microbòtica amb una certa fermesa.

Tal com passa en la majoria de treballs d'investigació que es redacten un llistat de conclusions les quals s'han després de la realització del treball, en el meu cas no trobo cap argument per esmentar, ja que tota la informació que he pogut extreure del microbot que he fet ja l'he inclòs dins la memòria del treball.

8.0 AGRAÏMENTS

Especialment m'agradaria donar els meus agraïments més sincers al Sr. Josep Bellet, el meu professor d'electrotècnia al Col·legi Espiscopal de Lleida, qui m'ha ajudat i animat des del bon principi del meu projecte, ja que sense el seu ajut jo per mi mateix no hagués pogut acabar el projecte amb tan bons resultats com crec he pogut aconseguir.

9.0 BIBLIOGRAFIA

- 1- Histan, M. B. i Alciatore D. G., *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*, McGraw-Hill, 1999
- 2- Angulo Usategui, J. M. i Angulo Martínez, I., *Microcontroladores PIC: Diseño práctico de aplicaciones*, 2a edició, McGraw-Hill, 1999
- 3- Angulo Usategui, J. M., Romero Yesa, S., Angulo Martínez, I., *Microbótica. Tecnología, aplicaciones y montaje práctico*, 1999
- 4- Horowitz, P. i Hill, W., *The Art of Electronics*, 2a edició, Cambridge University Press, 1989
- 5- Manual tècnic PIC16F8X de Microchip, Microchip Technology Inc., 1998
- 6- Guasch, M., Borrego, M. i Jordan, J., *Electrotècnia*, McGraw-Hill, 1999

ANNEX A

```
;------  
;-PROGRAMA EMISSOR D'ONES DE RÀDIO PEL CONTROL DEL MOVIMENT DEL "WAITERBOT"--  
;------  
; DIRECTIVES DEL PROGRAMA-----  
  
    LIST    P=16F84          ; S'utilitza el PIC 16F84  
  
    RADIX   HEX              ; S'utilitza el sistema de numeració  
                                ; hexadecimal  
  
; ETIQUETES DEL PROGRAMA-----  
  
W      EQU    0              ; Registre de treball W (Work): d = 0  
F      EQU    1              ; Registre de destí és el mateix font: d = 1  
  
ESTAT   EQU    0x03          ; S'adjudiquen una sèrie de noms a les dife-  
PORTAA  EQU    0x05          ; rents posicions de la memòria RAM del PIC  
PORTAB  EQU    0x06  
TMR_OPT EQU    0x01  
COMPTA  EQU    0x20          ; Registre especial per efectuar un compte  
  
; PROGRAMA PRINCIPAL-----  
  
    ORG      0                ; Vector de Reset  
    goto     inici            ; Salt cap a la etiqueta "inici"  
  
    ORG      5  
  
inici    bsf      ESTAT,5      ; Accés al banc 1  
          movlw    b'00000010' ; Divisor de freqüència 1:8  
          movwf    TMR_OPT  
          clrf     PORTAA      ; La Porta A queda configurada com a sortida  
          movlw    0xFF        ; Valor a carregar a PORTAB  
          movwf    PORTAB      ; PB entrada  
          bcf      ESTAT,5      ; Banc 0  
  
          movlw    b'00001'     ; El LED comença apagat  
          movwf    PORTAA  
          clrwdt  
  
lec      movf     PORTAB,W      ; Mou el contingut de PB a W  
          xorlw    0xFF        ; Operació lògica OR exclusiva  
          btfss    ESTAT,2      ; Comprova l'estat de Z i salta si val 1  
          goto     n            ; Va cap a "n"  
          call     rebots       ; Crida l'etiqueta de programa "rebots"  
          movf     PORTAB,W  
          xorlw    0xFF  
          btfss    ESTAT,2  
          goto     n  
          bsf      PORTAA,0      ; Apaga el LED perquè no hi ha moviment  
          call     codi         ; Envia el codi de seguretat  
          bsf      PORTAA,1      ; Inici de codi concret quiet  
          call     ret  
          bcf      PORTAA,1  
          call     ret  
          bsf      PORTAA,1  
          call     ret  
          bcf      PORTAA,1  
          call     ret
```

81

```

ne      bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        nop
        call     ret
        nop
        call     ret          ; Fi codi concret.
        clrwdt
        call     espera
        goto     lec
        movf     PORTAB,W
        xorlw    b'00111100'
        btfss    ESTAT,2
        goto     e
        call     rebots
        movf     PORTAB,W
        xorlw    b'00111100'
        btfss    ESTAT,2
        goto     e
        call     codi
        bsf      PORTAA,1      ; Inici de codi concret ne
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        nop
        call     ret
        nop
        call     ret
        nop
        call     ret
        nop
        call     ret          ; Fi codi concret.
        clrwdt
        call     espera
        goto     lec
e        movf     PORTAB,W
        xorlw    b'10111101'
        btfss    ESTAT,2
        goto     se
        call     rebots
        movf     PORTAB,W

```

```

xorlw b'10111101'
btfss ESTAT,2
goto se
call codi
bsf PORTAA,1 ; Inici de codi concret e
call ret
bcf PORTAA,1
call ret
bsf PORTAA,1
call ret
bcf PORTAA,1
call ret
bsf PORTAA,1
call ret
bcf PORTAA,1
call ret
bsf PORTAA,1
call ret
bcf PORTAA,1
call ret
bsf PORTAA,1
call ret
bcf PORTAA,1
call ret
nop
call ret
nop
call ret
nop
call ret
nop
call ret
nop
call ret
nop
call ret
nop
call ret
; Fi codi concret.
clrwdt
call espera
goto lec
se movf PORTAB,W
xorlw b'10100101'
btfss ESTAT,2
goto s
call rebot
movf PORTAB,W
xorlw b'10100101'
btfss ESTAT,2
goto s
call codi
bsf PORTAA,1 ; Inici de codi concret se
call ret
bcf PORTAA,1
call ret
bsf PORTAA,1
call ret
bcf PORTAA,1
call ret
bsf PORTAA,1
call ret
bcf PORTAA,1
call ret
bsf PORTAA,1

```

S

85

no

87

```

        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        nop
        call     ret
        nop
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        nop
        call     ret
        nop
        call     ret
        bsf      PORTAA,1
        call     ret
        bcf      PORTAA,1
        call     ret
        clrwdt
        return

ret      clrf      TMR_OPT
temp     btfss     TMR_OPT,7
        goto     temp
        return

rebots   movlw     d'10'
        movwf     COMPTA
comen    clrf      TMR_OPT
rebots1  btfss     TMR_OPT,7
        goto     rebots1
        decf      COMPTA,F
        btfss     ESTAT,2
        goto     comen
        clrwdt
        return

espera   movlw     d'30'
        movwf     COMPTA
start    clrf      TMR_OPT
espera1  btfss     TMR_OPT,7
        goto     espera1
        movf      COMPTA,W
        xorlw     b'00001111'
        btfss     ESTAT,2
        goto     contin
        clrwdt

contin   decf      COMPTA,F
        btfss     ESTAT,2
        goto     start
        return

END

```


ANNEX B

```

;-----
;-PROGRAMA RECEPTOR D'ONES DE RÀDIO PEL CONTROL DE MOVIMENT DEL "WAITERBOT"--
;-----
; DIRECTIVES DEL PROGRAMA-----

        LIST      P=16F84          ; S'utilitza el PIC 16F84

        RADIX     HEX              ; S'utilitza el sistema de numeració
                                   ; hexadecimal

; ETIQUETES DEL PROGRAMA-----

W        EQU      0                ; Registre de treball W (Work): d = 0
F        EQU      1                ; Registre de destí és el mateix font: d = 1
TMR_OPT  EQU      0x01             ; Etiqueta compartida entre els registres
                                   ; TMR0 i OPTION ja que tenen la mateixa
                                   ; adreça però ubicada en bancs diferents

ESTAT    EQU      0x03             ; Situa el registre Estat
PORTAA   EQU      0x05             ; Porta A al banc 0      Tris A al banc 1
PORTAB   EQU      0x06             ; Porta B al banc 0      Tris B al banc 1
COMPTA   EQU      0x20
REG1     EQU      0x21
REG2     EQU      0x22

; PROGRAMA PRINCIPAL-----

        ORG       0                ; Vector de Reset
        goto      inici            ; Salt cap a la etiqueta "inici"

        ORG       5                ; S'assigna l'adreça 5 a la següent
                                   ; instrucció que conté la etiqueta "inici"

inici    bsf       ESTAT,5          ; Accés al banc 1
        movlw     b'00000011'      ; Valor a carregar a OPTION
        movwf     TMR_OPT          ; Divisor de freqüència pel TMR0: 1:16
        clrf      PORTAA           ; La Porta A queda configurada com a sortida
        movlw     0xFF              ; Valor a carregar a PORTAB
        movwf     PORTAB           ; PB entrada
        bcf       ESTAT,5          ; Banc 0

        movlw     b'10000'         ; El LED comença apagat
        movwf     PORTAA

lec      clrw      PORTAB,4         ; Comprova l'estat de PB4 i examina el codi
        btfss     PORTAB,4         ; enviat
        goto      lec              ; evita interferències i desfasa la lectura
        call      interf            ; 1
        btfss     PORTAB,4
        goto      lec
        call      ret1
        btfsc     PORTAB,4         ; 0
        goto      lec
        call      ret1
        btfss     PORTAB,4         ; 1
        goto      lec
        call      ret1
        btfsc     PORTAB,4         ; 0
        goto      lec
        call      ret1

```

```

btfss PORTAB,4 ; 1
goto lec
call ret1
btfss PORTAB,4 ; 1
goto lec
call ret1
clrwdt
btfsc PORTAB,4 ; 0
goto lec
call ret1
btfss PORTAB,4 ; 1
goto lec
call ret1
btfss PORTAB,4 ; 1
goto lec
call ret1
btfsc PORTAB,4 ; 0
goto lec
call ret1
btfss PORTAB,4 ; 1
goto lec
call ret1
btfsc PORTAB,4 ; 0
goto lec
call ret1
clrwdt
btfss PORTAB,4 ; 1
goto lec
call ret1
btfss PORTAB,4 ; 1
goto lec
call ret1
btfsc PORTAB,4 ; 0
goto lec
call ret1
btfss PORTAB,4 ; 1
goto lec
call ret1 ; Fi de comprovació del codi de seguretat
nop
btfss PORTAB,4 ; Examinació del codi concret de cada
goto movNO ; direcció
call ret1
btfss PORTAB,4
goto movO
call ret1
clrwdt
btfss PORTAB,4
goto movSO
call ret1
btfss PORTAB,4
goto movS
call ret1
btfss PORTAB,4
goto movSE
call ret1
btfss PORTAB,4
goto movE
call ret1
btfss PORTAB,4
goto movNE
call ret1
btfss PORTAB,4

```

	goto	movN	
	goto	quiet	
quiet	bcf	PORTAA,0	
	bcf	PORTAA,1	
	bcf	PORTAA,2	
	bcf	PORTAA,3	
	bsf	PORTAA,4	
	call	retard	
	goto	lec	
movN	bsf	PORTAA,0	
	bcf	PORTAA,1	
	bsf	PORTAA,2	
	bcf	PORTAA,3	
	bcf	PORTAA,4	
	call	retard	
	goto	lec	
movNE	bcf	PORTAA,1	
	bsf	PORTAA,2	
	bcf	PORTAA,3	
	bcf	PORTAA,4	
	movlw	0xFF	; 1s de durada del gir
	movwf	REG1	
	movlw	d'156'	; 256 x 156 = 40.000 cicles de 25us
	movwf	REG2	
gir	bsf	PORTAA,0	
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	nop		
	bcf	PORTAA,0	
	nop		
	nop		
	decf	REG1,F	
	btfss	ESTAT,2	
	goto	wait	
	clrwdt		
	decf	REG2,F	
	btfsc	ESTAT,2	
	goto	lec	
	movlw	0xFF	
	movwf	REG1	
	goto	gir	
wait	nop		
	nop		
	nop		
	goto	gir	
movE	bcf	PORTAA,0	
	bsf	PORTAA,1	
	bsf	PORTAA,2	
	bcf	PORTAA,3	
	bcf	PORTAA,4	
	call	retard	
	goto	lec	

```

movSE    bcf      PORTAA,0
          bcf      PORTAA,2
          bsf      PORTAA,3
          bcf      PORTAA,4
          movlw    0xFF          ; 1s de durada del gir
          movwf    REG1
          movlw    d'156'        ; 256 x 156 = 40.000 cicles de 25us
          movwf    REG2
gir1      bsf      PORTAA,1
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          bcf      PORTAA,1
          nop
          nop
          decf     REG1,F
          btfss    ESTAT,2
          goto     wait1
          clrwdt
          decf     REG2,F
          btfsc    ESTAT,2
          goto     lec
          movlw    0xFF
          movwf    REG1
          goto     gir1
wait1     nop
          nop
          nop
          goto     gir1
movS      bcf      PORTAA,0
          bsf      PORTAA,1
          bcf      PORTAA,2
          bsf      PORTAA,3
          bcf      PORTAA,4
          call     retard
          goto     lec
movS0     bcf      PORTAA,0
          bsf      PORTAA,1
          bcf      PORTAA,2
          bcf      PORTAA,4
          movlw    0xFF          ; 1s de durada del gir
          movwf    REG1
          movlw    d'156'        ; 256 x 156 = 40.000 cicles de 25us
          movwf    REG2
gir2      bsf      PORTAA,3
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
          nop
    
```

```

nop
nop
nop
nop
bcf    PORTAA,3
nop
nop
decf   REG1,F
btfss  ESTAT,2
goto   wait2
clrwdt
decf   REG2,F
btfsc  ESTAT,2
goto   lec
movlw  0xFF
movwf  REG1
goto   gir2
wait2  nop
      nop
      nop
      goto gir2
mov0   bsf    PORTAA,0
      bcf    PORTAA,1
      bcf    PORTAA,2
      bsf    PORTAA,3
      bcf    PORTAA,4
      call   retard
      goto   lec
movNO  bsf    PORTAA,0
      bcf    PORTAA,1
      bcf    PORTAA,3
      bcf    PORTAA,4
      movlw  0xFF          ; 1s de durada del gir
      movwf  REG1
      movlw  d'156'        ; 256 x 156 = 40.000 cicles de 25us
      movwf  REG2
gir3   bsf    PORTAA,2
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      bcf    PORTAA,2
      nop
      nop
      decf   REG1,F
      btfss  ESTAT,2
      goto   wait3
      clrwdt
      decf   REG2,F
      btfsc  ESTAT,2
      goto   lec
      movlw  0xFF
      movwf  REG1
      goto   gir3

```

```
wait3    nop
          nop
          nop
          goto    gir3

interf    clrf    TMR_OPT      ; Temporització de 512us per evitar interfe-
interf1   btfss   TMR_OPT,5    ; rències i provocar un desfasament
          goto    interf1
          return

ret1      clrf    TMR_OPT      ; Retard de 2ms
miral     btfss   TMR_OPT,7    ; 128*16 = 2048us = 2ms
          goto    miral
          return

retard    movlw   d'29'        ; Temporització de 29ms
          movwf   COMPTA
comen     clrf    TMR_OPT
mira      btfss   TMR_OPT,6    ; 64*16 = 1024us = 1ms
          goto    mira
          clrwdt
          decf    COMPTA,F
          btfss   ESTAT,2
          goto    comen
          return

END
```

ANNEX C

```
;------  
;--PROGRAMA ESTABILITZADOR DE LA PLATA EN CAS D'INCLINACIÓ DE LA SUPERFÍCIE--  
;------  
; DIRECTIVES DEL PROGRAMA-----  
  
LIST    P=16F84          ; S'utilitza el PIC 16F84  
  
RADIX   HEX              ; S'utilitza el sistema de numeració  
                        ; hexadecimal  
  
; ETIQUETES DEL PROGRAMA-----  
  
W       EQU      0        ; Registre de treball W (Work): d = 0  
F       EQU      1        ; Registre de destí és el mateix font: d = 1  
TMR_OPT EQU      0x01     ; Etiqueta compartida entre els registres  
                        ; TMR0 i OPTION ja que tenen la mateixa  
                        ; adreça però ubicada en bancs diferents  
  
ESTAT   EQU      0x03     ; Situa el registre Estat  
PORTAA  EQU      0x05     ; Porta A al banc 0      Tris A al banc 1  
PORTAB  EQU      0x06     ; Porta B al banc 0      Tris B al banc 1  
  
; PROGRAMA PRINCIPAL-----  
  
ORG      0              ; Vector de Reset  
goto     inici          ; Salt cap a la etiqueta "inici"  
  
ORG      5              ; S'assigna l'adreça 5 a la següent  
                        ; instrucció que conté la etiqueta "inici"  
  
inici    bsf       ESTAT,5 ; Accés al banc 1  
        clrf      PORTAB   ; La Porta B queda configurada com a sortida  
        movlw     b'01111' ; Valor a carregar a PORTAA  
        movwf     PORTAA   ; PA entrada; RA4 sortida (LED)  
        bcf       ESTAT,5  ; Banc 0  
  
        clrf      PORTAB   ; Neteja la PB (motors)  
        bcf       PORTAA,4 ; LED encès  
  
lec      clrwdt      ; Refresca el Watchdog  
        movf      PORTAA,W  
        xorlw     b'0000' ; Posició perpendicular (robot en un pla)  
        btfss     ESTAT,2  
        goto     amunt  
        clrf      PORTAB  
        goto     lec  
amunt    movf      PORTAA,W  
        xorlw     b'0100' ; Costa amunt  
        btfss     ESTAT,2  
        goto     avall  
        movlw     b'10000100' ; Motors anteriors amunt  
        movwf     PORTAB  
check1   clrwdt  
        movf      PORTAA,W  
        xorlw     0x00  
        btfss     ESTAT,2  
        goto     check1  
        clrf      PORTAB ; Plata estabilitzada  
check2   clrwdt
```

```

        movf    PORTAA,W
        xorlw   0x00
        btfsc   ESTAT,2
        goto    check2
        movlw   b'01001000'    ; Motors anteriors avall
        movwf   PORTAB
check3  clrwdt
        movf    PORTAA,W
        xorlw   0x00
        btfss   ESTAT,2
        goto    check3
        clrf    PORTAB
        goto    lec

avall   movf    PORTAA,W
        xorlw   b'0010'        ; Pendent avall
        btfss   ESTAT,2
        goto    indreta
        movlw   b'00100001'    ; Motors posteriors amunt
        movwf   PORTAB
check4  clrwdt
        movf    PORTAA,W
        xorlw   0x00
        btfss   ESTAT,2
        goto    check4
        clrf    PORTAB        ; Plata estabilitzada
check5  clrwdt
        movf    PORTAA,W
        xorlw   0x00
        btfsc   ESTAT,2
        goto    check5
        movlw   b'00010010'    ; Motors posteriors avall
        movwf   PORTAB
check6  clrwdt
        movf    PORTAA,W
        xorlw   0x00
        btfss   ESTAT,2
        goto    check6
        clrf    PORTAB
        goto    lec

indreta movf    PORTAA,W
        xorlw   b'0001'        ; Decantació a la dreta
        btfss   ESTAT,2
        goto    inesq
        movlw   b'10100000'    ; Motors dreta amunt
        movwf   PORTAB
check7  clrwdt
        movf    PORTAA,W
        xorlw   0x00
        btfss   ESTAT,2
        goto    check7
        clrf    PORTAB        ; Plata estabilitzada
check8  clrwdt
        movf    PORTAA,W
        xorlw   0x00
        btfsc   ESTAT,2
        goto    check8
        movlw   b'01010000'    ; Motors dreta avall
        movwf   PORTAB
check9  clrwdt
        movf    PORTAA,W

```



```
xorlw    0x00
btfss    ESTAT,2
goto     check9
clrf     PORTAB
goto     lec

inesq     movf    PORTAA,W
xorlw     b'1000'      ; Decantació a l'esquerra
btfss     ESTAT,2
goto      lec
movlw     b'00000101'  ; Motors esquerra amunt
movwf     PORTAB
check10   clrwdt
movf      PORTAA,W
xorlw     0x00
btfss     ESTAT,2
goto      check10
clrf      PORTAB      ; Plata estabilitzada
check11   clrwdt
movf      PORTAA,W
xorlw     0x00
btfsc     ESTAT,2
goto      check11
movlw     b'00001010'  ; Motors esquerra avall
movwf     PORTAB
check12   clrwdt
movf      PORTAA,W
xorlw     0x00
btfss     ESTAT,2
goto      check12
clrf      PORTAB
goto      lec

END
```