

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

**PANTALLA TÀCTIL PER APLICACIONS EXPERIMENTALS EN ENTRENADOR
DIDÀCTIC DE MICROPROCESSADORS.**

Memòria

**MARC TORRENTS PÉREZ
PONENT: VICENÇ DELOS**

PRIMAVERA 2015



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Dedicatòria

Aquest projecte va dedicat a tota la meva família per haver-me recolzat en tot moment,
pels seus consells i pels valors que m'han inculcat des de petit.

Agraïments

En primer lloc vull donar les gràcies al meu tutor Vicenç Delos per tot el suport rebut durant la realització d'aquest projecte.

A la meva família per involucrar-se també en el desenvolupament d'aquest projecte, ajudant-me en tot el que era al seu abast.

Finalment, agrair a tots els professors que m'han donat les eines necessàries per poder formar-me com a Enginyer.

Resum

Aquest projecte tracta del disseny i construcció d'un panell tàctil amb una matriu de visualització per exercicis de pràctiques docents amb l'entrenador MCLS-modular basat en el microcontrolador C515C. El panell permet ser configurat com a teclat tàctil de diferents geometries personalitzables, com podrien ser els teclats numèrics senzills, els qual disposarien de retroil·luminació de la zona premuda per validar el seu accionament

Resumen

Este proyecto trata del diseño y construcción de un panel táctil con una matriz de visualización para ejercicios de prácticas docentes con el entrenador MCLS-modular basado en el microcontrolador C515C. El panel permite ser configurado como teclado táctil de diferentes geometrías personalizables, como podrían ser los teclados numéricos sencillos, los cuales dispondrían de retroil·luminación de la zona pulsada para validar su accionamiento.

Abstract

This project is about the design and construction of a touch panel with a display matrix for teaching practice with the platform MCLS-modular based on the microcontroller C515C. The panel can be configured as touchpad of different personalized geometries as could be the simple numerical keyboards, which will have backlighting of the area that has been pressed to validate the operation.

Índex.

Índex de figures.	III
Índex de taules.	VII
Glossari de termes.	IX
1. Objectius.	1
1.1. Propòsit.	1
1.2. Finalitat.	1
1.3. Objecte.	1
1.4. Abast.	2
2. Antecedents i necessitats d'informació	3
2.1. Estudi de les diferents tecnologies de pantalles tàctils	3
2.1.1. Pantalles tàctils resistives.	3
2.1.2. Pantalles tàctils capacitatives.	6
2.1.3. Comparació entre les dues tecnologies.	8
2.2. Matriu d'il·luminació LED.	9
2.2.1. Tecnologia LED.	9
2.2.2. Estructura bàsica d'una matriu de LEDs.	10
2.2.3. Control de la matriu de LEDs.	11
3. Solució tècnica del panell.	13
3.1. Pantalla tàctil	13
3.2. Panell d'il·luminació matricial.	14
3.3. Incorporació del teclat.	14
4. Entrenador MCLS-modular.	17
4.1. Introducció.	17
4.2. Hardware.	18
4.2.1. Plataforma d'experimentació.	18
4.2.2. Unitat adaptadora de 8 bits.	19
4.2.3. Mòdul PSD1-FLASH.	20
4.3. Software.	21
4.3.1. Entorn de desenvolupament integrat (IDE).	21
5. Microcontrolador C515C.	23
5.1. Característiques principals.	23

5.1.1. Perifèrics <i>on-chip</i>	24
5.1.2. Registres CPU.	25
5.2. BUS SPI	25
5.3. Convertidor A/D.....	28
6. Descripció i funcionament del hardware.....	31
6.1. Diagrama de blocs general.	31
6.2. Pantalla tàctil resistiva de 4 fils.	31
6.2.1. Circuit d'interfície entre la pantalla tàctil i el MCLS-modular.	32
6.3. Panell matricial d'il·luminació.	42
6.3.1. Circuit de control del panell de visualització matricial.	44
7. Disseny i creació de la placa PCB.....	51
8. Estructura per a la incorporació del teclat.	57
9. Desenvolupament del Software.....	59
9.1. Descripció de les etiquetes i variables utilitzades en el programa.	60
9.1.1. Etiquetes de programa.	60
9.1.2. Variables creades pel programa.....	62
9.2. Diagrames de Flux.....	62
9.2.1. Programa principal	62
9.2.2. Servei d'interrupció.	67
9.3. Interfície SPI.....	75
9.4. Convertidor Analògic-Digital.....	77
9.5. MCP23S17.	80
10. Resultats.	87
10.1. Aspecte físic del prototip.7.....	87
10.2. Verificació del prototip.	88
11. Planificació del projecte.	91
11.1. Desviacions de la planificació.	96
12. Valoració de l'impacte ambiental.....	99
13. Conclusions.	101
14. Referències.	103

Índex de figures.

Fig. 2.1. Estructura d'una pantalla tàctil resistiva	3
Fig. 2.2. Elèctrodes en un tàctil resistiu de 4 fils.....	4
Fig. 2.3. Circuit equivalent d'un tàctil resistiu de 4 fils.	5
Fig. 2.4. Mesura de tensió d'una capa del tàctil.	5
Fig. 2.5. Elèctrodes en un tàctil resistiu de 5 fils.....	6
Fig. 2.6. Pantalla tàctil capacitativa.....	7
Fig. 2.7. Díode LED.	9
Fig. 2.8. a) Corba de la sensibilitat de l'ull humà. b) Espectre visible de la llum.	10
Fig. 2.9. Matriu de LEDs a) Ànode comú (per fila) b) Càtode comú (per fila)... ..	10
Fig. 2.10. Controlar Leds de forma individual amb dues files activades... ..	12
Fig. 2.11. Multiplexat d'una matriu de LEDs.....	12
Fig. 3.1. Distribució dels LEDs personalitzada.....	14
Fig. 3.2. Estructura <i>sandwich</i> formada per dues peces de metacrilat.....	15
Fig.4.1. MCLS modular amb els mòduls d'experimentació.	18
Fig. 4.2. Plataforma d'experimentació MCLS-modular.....	18
Fig. 4.3. Part posterior del entrenador MCLS-modular.....	19
Fig. 4.4. Unitat adaptadora de 8 bits.....	20
Fig. 4.5. Mòdul PSD1-FLASH.....	20
Fig. 4.6. Tasques del entorn de desenvolupament integrat (IDE).. ..	22
Fig. 5.1. Diagrama de blocs del C515C.....	23
Fig. 5.2. Connexió SPI (1 mestres – 3 esclaus).. ..	26
Fig. 5.3. Synchronous Serial Channel del C515C.....	27
Fig. 5.4. Connexió mestre-esclau C515C.....	27
Fig. 5.5. Modes de rellotge definits pel protocol SPI en mode mestre.....	28
Fig. 5.6. Diagrama de blocs del convertidor A/D.....	29
Fig. 6.1. Diagrama de blocs del prototip.. ..	31
Fig. 6.2. Pantalla tàctil utilitzada en el prototip.....	32
Fig. 6.3. Circuit d'interfície entre la pantalla tàctil i el microcontrolador.....	33
Fig. 6.4. Lectura del ls coordenada X.....	35
Fig. 6.5. Lectura de la coordenada Y.....	35
Fig. 6.6. Esquema de funcionament del LM4040C41.....	36

Fig. 6.7. a) NPN 2N2222A ($I_{cm\grave{a}x}= 0,8A$). b) PNP BD136 ($I_{cm\grave{a}x}= 1,5A$).....	38
Fig. 6.8. Circuit de sortida bàsic dels Ports 1 a 5 i 7.....	39
Fig. 6.9. Circuit de control de la coordenada X de la pantalla tàctil.	39
Fig. 6.10. Distribució dels LEDs respecta l'àrea visible del tàctil..	42
Fig. 6.11. MCP23S17.....	43
Fig. 6.12. Diagrama de blocs funcionals del MCP23S17..	43
Fig. 6.13. Circuit d'interfície entre la matriu de LEDs i el MCLS-modular.....	44
Fig. 6.14. Característiques elèctriques (Valors màxims).....	45
Fig. 6.15. Multiplexació de les files de la matriu de LEDs.....	45
Fig. 6.16. a) I_{Lrel} vs corrent directe b) I_{Lrel} vs longitud d'ona.....	46
Fig. 6.17. Circuit simplificat del circuit controlador d'una fila de la matriu.....	47
Fig. 6.18. ULN2803A.....	48
Fig. 6.19. Circuit simplificat d'activació d'un LED de la matriu.	49
Fig. 7.1. Disseny de la PCB del prototip.....	52
Fig. 7.2. Part del fitxer Gerber de la capa superior (TOP Copper) de la PCB..	53
Fig. 7.3. Cara superior de la PCB.....	54
Fig. 7.4. Cara inferior de la PCB (sense efecte mirall)..	55
Fig. 7.5. Vista en 3D de la PCB dissenyada.....	56
Fig. 7.6. Placa PCB del prototip.....	56
Fig. 8.1. Peça de metacrilat... ..	57
Fig. 8.2. Separador d'alumini sobreposat al metacrilat inferior.....	58
Fig. 8.3. Estructura per la incorporació del teclat a)Vista superior b)Vista frontal... ..	58
Fig. 9.1. Teclat numèric de PC.....	59
Fig. 9.2. Teclat dividit en diferents àrees... ..	61
Fig. 9.3. Diagrama de flux del Programa principal.....	63
Fig. 9.4. Diagrama de flux de la subrutina SPI_BUS.	64
Fig. 9.5. Diagrama de Flux de la subrutina PORTS_OUT... ..	65
Fig. 9.6. Diagrama de flux de la subrutina LEDS_OFF.....	66
Fig. 9.7. Diagrama de flux de la subrutina LECTURA_ADC.	67
Fig. 9.8. Diagrama de Flux del sistema d'interrupció..	68
Fig. 9.9. Diagrama de flux de la subrutina AJUST_COORDENADES (I)....	69
Fig. 9.9. Diagrama de flux de la subrutina AJUST_COORDENADES (II).....	70
Fig. 9.10. Diagrama de flux de la subrutina ADAPTACIO (I).....	72

Fig. 9.10. Diagrama de flux de la subrutina ADAPTACIO (II).....	73
Fig. 9.11. Diagrama de flux de la subrutina MULTIPLEXACIO.....	74
Fig. 9.12. Registre SSCON.....	75
Fig. 9.13. Registres STB i SRB.....	76
Fig. 9.14. Registre SCF.	76
Fig. 9.15. Registre ADCON0 i ADCON1... ..	77
Fig. 9.16. Registres IEN1 i IRCON.....	79
Fig. 9.17. Registres ADDATH i ADDATL.....	79
Fig. 9.18. Registre IOCON.....	80
Fig. 9.19. Registre IODIR-I\O.....	81
Fig. 9.20. Registre GPIO... ..	82
Fig. 9.21. Adreces dels registres del MCP23S17... ..	82
Fig. 9.22. Byte per l'adreçament de registres.....	83
Fig. 9.23. Mode Seqüencial.....	84
Fig. 9.24. Mode Bit amb IOCON.BANK=0.	85
Fig. 10.1. Panell tàctil.....	87
Fig. 10.2. Panell tàctil amb l'entrenador MCLS-modular.....	87
Fig. 10.3. Verificació del prototip.... ..	88
Fig. 10.4. Visualització de la tecla premuda al teclat.....	89
Fig. 11.1. Planificació de l'enginyeria de detall... ..	95
Fig. 11.2. Duració real de la planificació de l'enginyeria de detall.....	97

Índex de taules.

Taula. 2.1. Comparació entre el tàctil resistiu i el tàctil capacitatiu.....	8
Taula. 4.1. Característiques de la plataforma MCLS-modular.....	19
Taula. 4.2. Connexions de la unitat adaptadora de 8 bits.....	20
Taula. 4.3. Dades tècniques del mòdul PSD1-FLASH.....	21
Taula. 6.1. Obtenció de les coordenades de la pantalla tàctil.....	34
Taula. 6.2. Condicions dels estats del transistors.....	38
Taula. 7.1. Especificacions per realitzar una placa PCB al Tecnocampus.....	51
Taula. 9.1. Funció dels bits del registre SSCCON (II).....	75
Taula. 9.1. Funció dels bits del registre SSCCON (II).....	76
Taula. 9.2. Funció dels bits del registre SCF.....	77
Taula. 9.3. Funció dels bits dels registres ADCON0 i ADCON1(I).....	77
Taula. 9.3. Funció dels bits dels registres ADCON0 i ADCON1(II).....	78
Taula. 9.4. Funció dels bits dels Registres IEN1 i IRCON.....	79
Taula. 9.5. Funció dels bits del Registre IOCON (I).....	80
Taula. 9.5. Funció dels bits del Registre IOCON (II).....	81
Taula. 11.1. Planificació de l'enginyeria de detall (I).....	91
Taula. 11.1. Planificació de l'enginyeria de detall (II).....	92

Glossari de termes.

ADC	Convertidor analògic-digital
CAN	Protocol de comunicació
CI	Circuit Integrat
CO ₂	Diòxid de carboni
CONT-X	Connector que habilita la superfície X del tàtil
CONT-Y	Connector que habilita la superfície Y del tàtil
D	Cicle de treball
D-SUB	Connector que s'utilitza per connectar-se a l'ordinador
EUPMT	Escola Universitària Politècnica de Mataró
E/S	Perifèric d'entrada i sortida
GND	Massa
I ² C	Bus de comunicació en sèrie
I _{Lrel}	Intensitat lluminosa relativa
I _{AVLED}	Intensitat mitja que circularà per un LED
I _{màxFila}	Intensitat màxima d'una fila de la matriu
I _{màxLED}	Intensitat màxima circularà per un LED
ITO	Òxid d'indi i estany
I _{Zmín}	Intensitat mínima requerida pel bon funcionament del LM4040C41
I _{Zmàx}	Intensitat màxima requerida pel bon funcionament del LM4040C41
LED	Díode emissor de llum

X

MISO	Línia de transmissió esclau-mestre
MOSI	Línia de transmissió mestre-esclau
PC	Ordinador personal
PCB	Placa de circuit imprès
PET	Membrana flexible de polietilè
READ-X	Connector que s'utilitza per la lectura de la coordenada X
READ-Y	Connector que s'utilitza per la lectura de la coordenada Y
SAW	Tàctil d'ona acústica superficial
SIPO	Registre amb entrada sèrie i sortida paral·lela
SPI	Bus d'Interfície de perifèrics sèrie
UPC	Universitat Politècnica de Catalunya
Vcc	Tensió d'alimentació
VTP	Tensió d'alimentació del tàctil
X	Eix horitzontal en el sistema de coordenades cartesianes
Y	Eix vertical en el sistema de coordenades cartesianes

1. Objectius.

1.1. Propòsit.

Disseny i construcció d'un panell tàtil amb una matriu de visualització per l'entrenador MCLS-modular basat en el microcontrolador Infineon C515C (8051).

1.2. Finalitat.

Crear un prototip per poder realitzar pràctiques d'E/S en l'entorn del MCLS-modular (C515C).

1.3. Objecte.

El projecte consisteix en el disseny i construcció d'un panell tàtil amb una matriu de visualització per dur a terme pràctiques, a l'EUPMT, d'E/S en l'entorn del MCLS-modular basats en el microcontrolador C515C (8051).

Consistirà en una pantalla tàtil com a perifèric d'entrada sobreposat a un senzill panell de visualització, de manera que sobre la pantalla tàtil es puguin delimitar zones d'activació. Aquestes zones han de poder respondre a diferents tipus de teclats senzills o altres geometries d'activació.

El panell de visualització haurà d'il·luminar la zona premuda de la pantalla, d'aquesta manera s'obté la validació de la seva activació. Per la creació del panell de visualització s'ha decidit de fer-lo amb una matriu de LEDs. Aquesta matriu haurà de tenir un disseny que sigui capaç de satisfer totes les necessitats.

A nivell de programari es dissenyarà els programes i rutines adients per fer funcionar el panell. Els programes i rutines seran escrits amb llenguatge de programació que s'utilitza en les pràctiques.

1.4. Abast.

Els objectius a complir són el disseny i realització d'un prototip que permeti verificar el funcionament del panell tàctil per posteriorment poder seriar-ne la seva fabricació per a totes les bancades de pràctiques. Per tant, es realitzarà el disseny del circuit imprès, la memòria de fabricació i el manual d'usuari, el qual explicarà el seu funcionament.

Pel que fa el disseny físic del prototip, s'ha de tenir en compte que a través de la pantalla tàctil, s'ha de poder visualitzar la geometria del teclat que s'utilitzi com a entrada de dades i la il·luminació de la matriu de LEDs per la verificació de l'activació de la pantalla. Per aquesta raó, s'estudiaran diferents solucions de disseny que permetien complir aquests requisits. Respecte les dimensions del prototip, aquestes s'hauran d'ajustar al entorn on es treballarà.

A nivell de programari es dissenyarà un programa test per la validació del prototip. Un cop validat el seu funcionament, es realitzaran rutines específiques pel funcionament de diferents geometries que es puguin utilitzar.

Per últim, destacar que en aquest projecte no es realitzaran els estudis i les proves necessàries per a l'homologació del producte.

2. Antecedents i necessitats d'informació

2.1. Estudi de les diferents tecnologies de pantalles tàctils

Una pantalla tàctil és un dispositiu que permet l'entrada de dades a altres dispositius electrònics mitjançant una pulsació a la seva superfície. El mercat ofereix diferents tecnologies de pantalles tàctils: resistives, capacitatives, d'ona acústica superficial (SAW), per infraroig, etc. Les més populars són els tàctil resistius i els capacitatius. Per aquest tipus de projecte, les SAW i les infraroig han sigut directament descartades ja que pel tipus de projecte que es durà a terme no són les més adequades. Les pantalles tàctils per infraroig poden detectar fàcilment falses pulsacions, mentre que les pantalles tàctils SAW són la tecnologia més precisa i fiable del mercat, les quals estan orientades per aplicacions més complexes. A continuació s'explicarà els principis de funcionament dels tàctil resistius i capacitatius, ja que aquest són els tipus de tàctils més utilitzats en la actualitat.

2.1.1. Pantalles tàctils resistives.

En general una pantalla tàctil resistiva està composta per una membrana flexible de polietilè suspesa sobre un substrat rígid de vidre o acrílic. Ambdues superfícies estan recobertes amb una pel·lícula conductiva transparent d'òxid d'indi i estany. Les capes conductores es mantenen separades per petits separadors que eviten el contacte entre elles. D'aquesta manera no existeix una connexió elèctrica a menys que s'apliqui una pressió sobre la làmina superior.

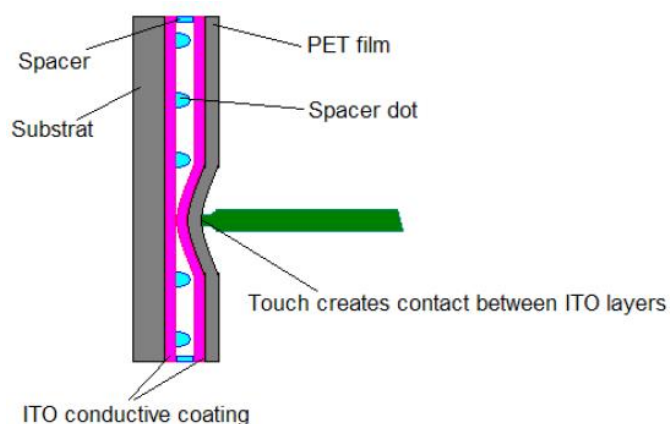


Fig. 2.1. Estructura d'una pantalla tàctil resistiva.

Les pantalles tàctils resistives tenen l'avantatge de que poden ser utilitzades amb qualsevol objecte, són econòmiques, fiables i versàtils. Per altre banda, com s'utilitzen varies capes de material transparent sobre la pròpia pantalla, es perd lluminositat. També, el tractament conductor de la pantalla tàctil és sensible a la llum ultraviolada, això fa que amb el temps es degradi i perdi flexibilitat i transparència.

Es poden trobar diferents models de tàctils resistius segons el número de fils conductors que utilitzen, aquestes poden ser entre quatre i vuit encara que les més utilitzades en el mercat són les de quatre i cinc fils.

- Pantalla tàctil resistiva de 4 fils

Les pantalles tàctils resistives de 4 fils utilitzen un únic parell d'elèctrodes en forma de barra col·locades sobre cada capa d'ITO, on els elèctrodes situats a la làmina superior i en el substrat inferior són perpendiculars entre si. Per poder obtenir les coordenades, aquests elèctrodes es troben disponibles externament per mitja d'un cable flexible compost per 4 fils. Els fils es denominen X+ (esquerra), X- (dreta), Y+ (part superior) i Y- (part inferior). La Fig.2.2. mostra els elèctrodes en un tàctil de 4 fils.

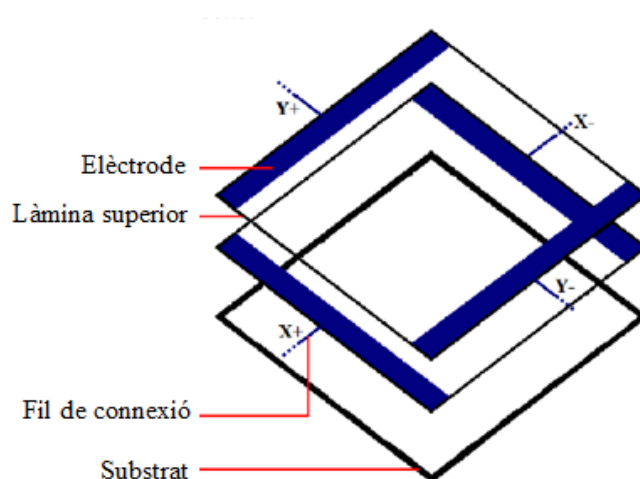


Fig. 2.2. Elèctrodes en un tàctil resistiu de 4 fils.

A la Fig. 2.3. es representa esquemàticament el que succeeix quan hi ha una pulsació a la pantalla. Se suposa que el punt de contacte és el lloc on es troba R_{touch} , la qual és la resistència de contacte entre ambdues membranes quan es pressiona el tàctil.

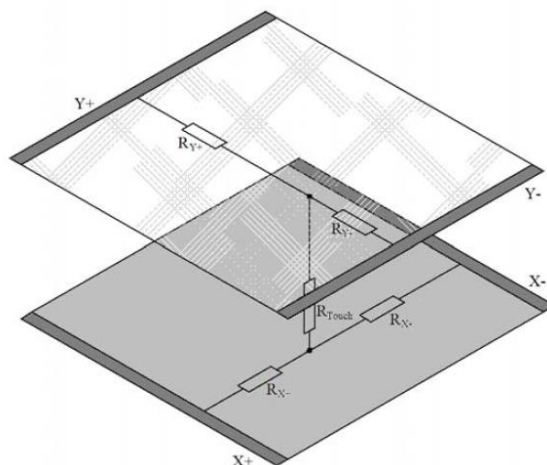


Fig. 2.3. Circuit equivalent d'un tàctil resistiu de 4 fils.

Per obtenir les coordenades del punt pressionat es polaritza la capa "X" i es mesura el voltatge en "Y+" o "Y-" (depenen del tàctil), el voltatge capturat és el valor produït pel divisor de tensió de la capa "X" en el punt R_{touch} . Com que la resistència "Y+/-" queda en sèrie amb la mesura i el seu valor es baix, la caiguda de tensió provocada pot ser menyspreable. Per obtenir la coordenada "Y" es realitza el mateix procediment, però aquest cop polaritzant la capa "Y" i obtenint la coordenada a la capa "X", obtenint així la coordenada del punt de contacte.

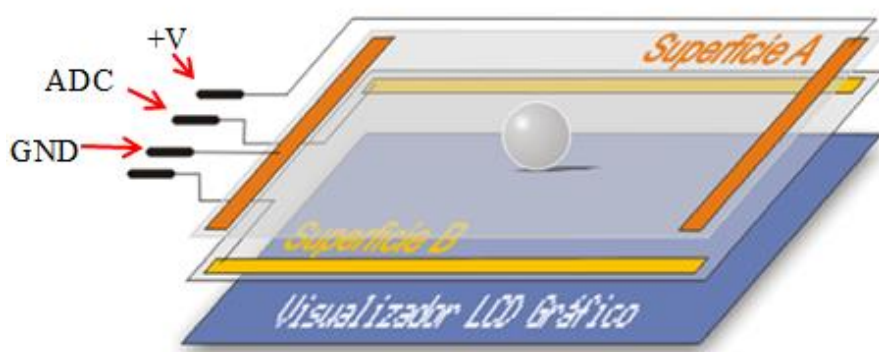


Fig. 2.4. Mesura de tensió d'una capa del tàctil.

Una vegada obtinguda la mesura, aquesta és convertida a un valor digital a través del convertidor analògic-digital. D'aquesta manera el microcontrolador pot treballar amb els valors obtinguts.

- Pantalla tàctil resistiva de 5 fils

Igual que una pantalla tàctil de 4 fils, una pantalla resistiva de cinc fils també es compon de dues capes resistives transparents separades per separadors aïllants. La capa superior només actua com a sonda de mesura de tensió. Les quatre cantonades de la capa inferior s'utilitza per produir gradients de tensió en les direccions “X” i “Y”.

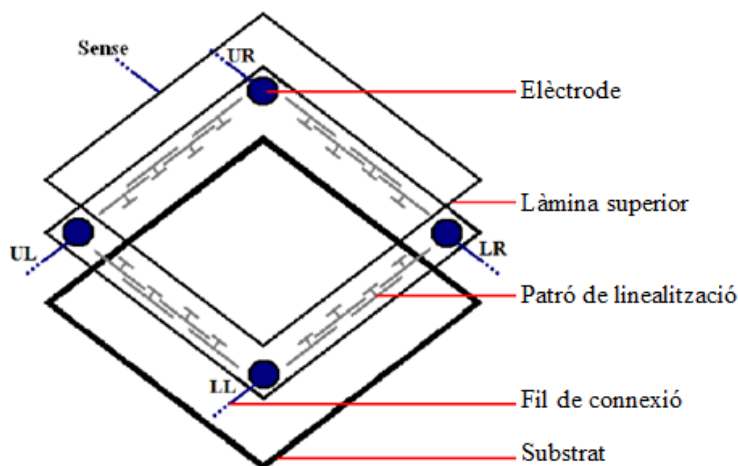


Fig. 2.5. Elèctrodes en un tàctil resistiu de 5 fils.

Quatre cables són connectats als elèctrodes, aquests es poden anomenar UL (Superior esquerra), UR (Superior dreta), LL (Inferior esquerra) i LR (Inferior dret). El cinquè cable està connectat a la capa superior per detectar la tensió del elèctrode.

Per obtenir les coordenades completes, el gradient de voltatge s'aplica sobre la capa de substrat un cop en direcció horitzontal per determinar la coordenada “Y” i un cop en direcció vertical per determinar la coordenada “X”.

2.1.2. Pantalles tàctils capacitatives

Una pantalla capacitativa està coberta d'un material que acostuma ser òxid d'indi i estany. D'aquesta manera permet dirigir un corrent elèctric continu a través d'un petit sensor situat a la pantalla. Aquest sensor controla amb precisió mil·limètrica el eix vertical i horitzontal de la pantalla mitjançant un camp d'electrons, és a dir, adquireix capacitància.

El ésser humà té electrons, per tant també disposa de capacitància. Quan el camp de capacitància normal del sensor (estat de referència) és alterat per un altre camp de

capacitància, com pot ser el dit d'una persona, els circuits electrònics situats a cada cantonada de la pantalla, mesuren la “distorsió” resultant a la ona sinusoidal característica del camp de referència. Posteriorment, envia la informació al controlador pel seu processament matemàtic i d'aquesta manera es coneix la posició de contacte sobre la pantalla. Per tant, aquest tipus de tàctil només és pot utilitzar amb el dit o amb un objecte que disposi de capacitància.

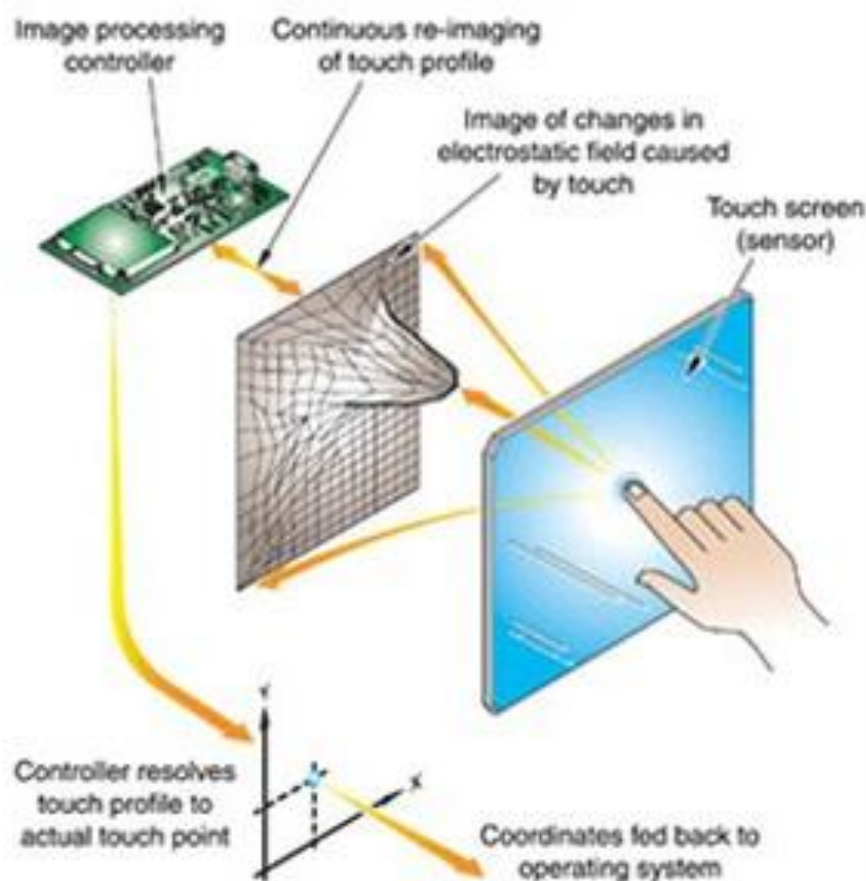


Fig. 2.6. Pantalla tàctil capacitativa.

2.1.3. Comparació entre les dues tecnologies.

A continuació es mostra una taula amb la comparació de les característiques més rellevants entre les dues tecnologies.

Característica	Tàctil resistiu	Tàctil capacitatiu
Cost	Són les més barates que es poden trobar al mercat actualment.	Tenen un cost més elevat, entre un 10% i un 50% depenent del fabricant.
Visibilitat a interiors	Molt bona	Molt bona
Visibilitat amb llum solar	Habitualment dolenta, la quantitat de capes provoca que hi hagi un alt reflex de la llum ambiental.	Generalment molt bona. Aquest tipus de pantalla no té capes extres.
Sensibilitat al tacte	Es requereix fer una pressió i es pot utilitzar amb qualsevol tipus d'objecte, amb un llapis, amb els dits, amb guants, etc.	Només funciona amb el contacte de la pell o amb un objecte que tinguin capacítàcia.
Precisió	Precisió fins a la mida d'un píxel.	Precisió d'uns pocs píxels.
Multi-tàctil	No, aquest tipus de tàctil només és capaç de detectar un punt de contacte.	Sí, aquest tipus de tecnologia permet detectar més d'un punt de contacte a la vegada.
Durabilitat	La làmina superior del tàctil està formada per polièster, això fa que siguin més propenses a tenir rallades, però també provoca que sigui difícil de trencar-se al rebre algun cop. Aquest tipus de pantalla requereix ser calibrada cada un cert temps.	La pantalla de vidra fa que sigui més resistent a les rallades, però això fa que sigui més fràgil als cops.
Ambient de treball	Té un ampli rang de funcionament. De -15°C fins 55°C.	La temperatura d'operació és entre 0°C i 35°C normalment.

Taula. 2.1. Comparació entre el tàctil resistiu i el tàctil capacitatiu.

2.2. Matriu d'il·luminació LED.

Una matriu de LEDs està formada per un número específic de columnes i files. Cada intersecció entre columna i fila conté un LED.

2.2.1. Tecnologia LED.

El LED és un dispositiu semiconductor que emet llum quan circula corrent a través d'ell. Al igual que un díode normal, un LED consisteix d'un encapsulat de material semiconductor impregnat (o dopat) amb impureses que forma una estructura denominada unió PN. El corrent flueix des de el material tipus P, o ànode, al material tipus N, o càtode; però no en direcció inversa. Aquest corrent provoca que els electrons en el material siguin temporalment excitats, fen que aquests es moguin a una banda de nivell d'energia més alt. Quan els electrons retornen a la seva banda d'energia normal, s'emeten fotons (quantitats específiques d'energia lluminosa).

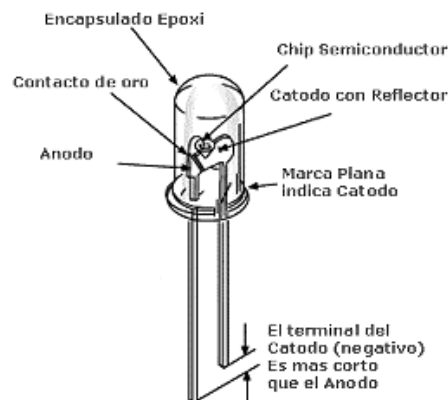


Fig. 2.7. Díode LED.

La longitud d'ona de la llum emesa, i per tant el seu color, depèn de la composició del material semiconductor utilitzat, poden ser llum ultraviolada, visible o infraroja.

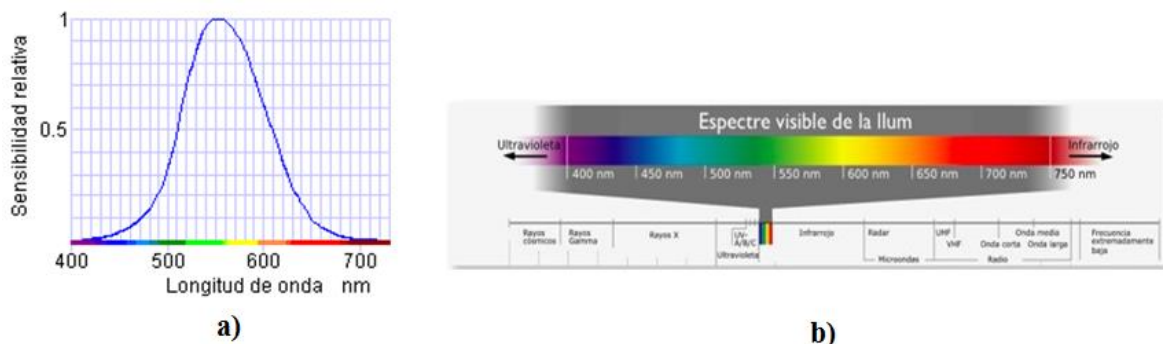


Fig. 2.8. a) Corba de la sensibilitat de l'ull humà. b) Espectre visible de la llum.

L'ull humà només és capaç de percebre un rang limitat de longituds d'ona, aquest interval va de 380 nm a 780 nm i s'anomena espectre visible de la llum. Aquests extrems corresponen, respectivament, als colors violeta, a les longituds d'ona més curtes, i als colors vermells, a les longituds d'ona més llargues. La longitud d'ona amb una sensibilitat màxima per l'ull humà és de 555 nm la qual correspon a un color groc-verd.

2.2.2. Estructura bàsica d'una matriu de LEDs.

Una matriu no està fixada a un número exacte de LEDs, el número dependrà de la funció que si li voldrà donar a la matriu. A continuació, es pot observar una matriu d'exemple de 4x4.

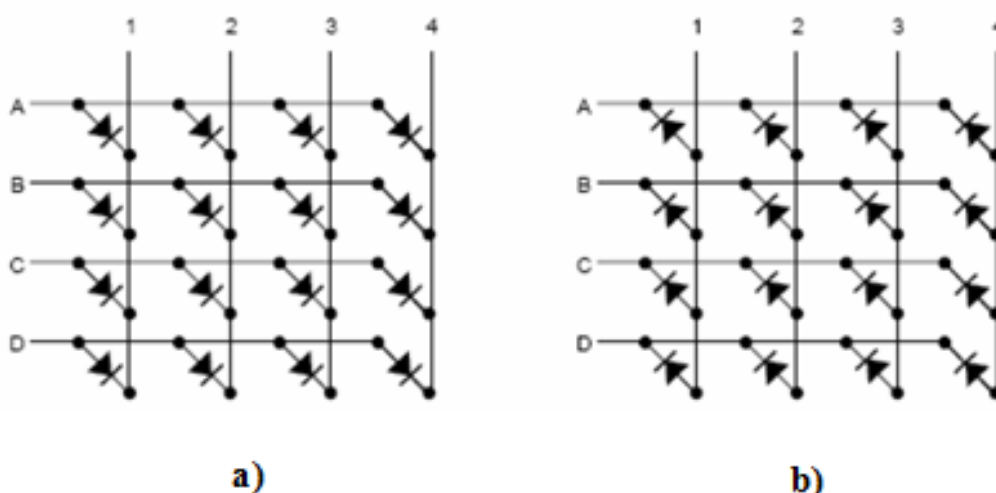


Fig. 2.9. Matriu de LEDs a) Ànode comú (per fila) b) Càtode comú (per fila).

Cada LED pot ser adreçat especificant la seva localització en termes de files i columnes. Per exemple, el LED de la part inferior-esquerra és adreçat com (D,1) és a dir, fila D i

columna 1. Aquest mètode d'adreçament també indica el flux del corrent. Així que, per encendre el LED (D,1), el corrent ha de fluir des de D fins a 1. Si es col·loquessin interruptors a les files i a les columnes, llavors, per encendre el LED (D,1), els interruptors D i 1 haurien d'estar tancats. Els altres LEDs no s'encendrien, ja que al tenir els interruptors oberts, no hi circularia corrent.

La Fig.2.9. mostra dos configuracions diferents. La diferència, està en el mètode que s'utilitza per gestionar els LEDs. En la configuració del ànode comú, el corrent circula de files a columnes, mentre que la configuració càtode comú, el corrent circula de columnes a files.

2.2.3. Control de la matriu de LEDs.

Els LEDs són dispositius controlats per corrent. Gestionar varis LEDs de forma individual és relativament simple. Però, quan el número de LEDs incrementa, els recursos que es necessiten pel seu funcionament resulten bastant extensos.

En un format matricial, els LEDs estan controlats per les files i les columnes. Un mètode utilitzat per gestionar matrius de LEDs és el multiplexat. Aquest procés requereix major complexitat però és més eficient comparat amb el control individual dels LEDs. Cada LED pot ser controlat individualment en el mode multiplexat. Això passa perquè es divideix la seqüència de control del LED en nivells en el domini del temps.

Per multiplexació, només una fila de la matriu de LEDs és activada en un interval de temps. Aquest mètode s'aplica perquè el terminal del LED (sigui l'ànode o el càtode) està connectat a una sola fila. Si no s'apliqués aquest mètode i s'activés més d'una fila a la vegada, per exemple A i B de la Fig 2.10, seria impossible controlar un LED de forma individual dintre d'aquestes dues files.

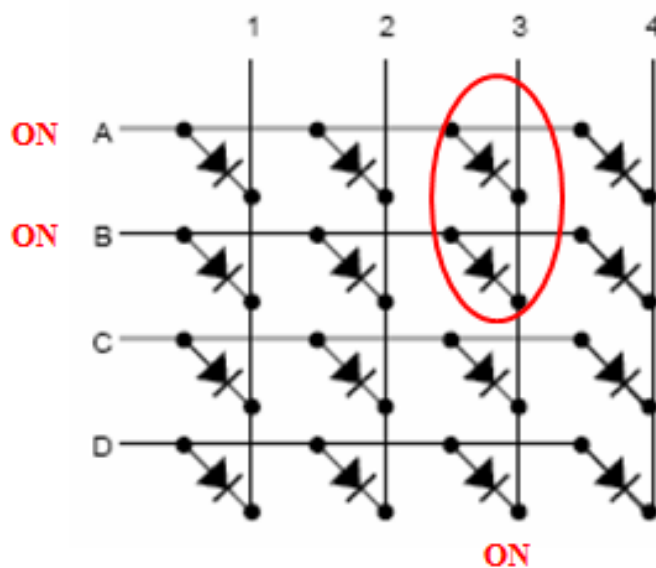


Fig. 2.10. Controlar Leds de forma individual amb dues files activades.

Per l'explicació de la multiplexació s'utilitzarà la configuració d'ànode comú per il·lustrar els conceptes de multiplexació.

La multiplexació per divisió de temps es realitza en ordre seqüencial (A fins a D). Només una fila és alimentada en un únic instant de temps. Durant el període en el qual una fila es alimentada, els LEDs que es volen il·luminar són activats alimentant les columnes apropiades. A la Fig 2.11. es pot observar el seu funcionament, per una part es produeix el multiplexat de les files (quan arriba a la fila D torna ha començar) i per l'altre s'activen les columnes que encendran els LEDs desitjats.

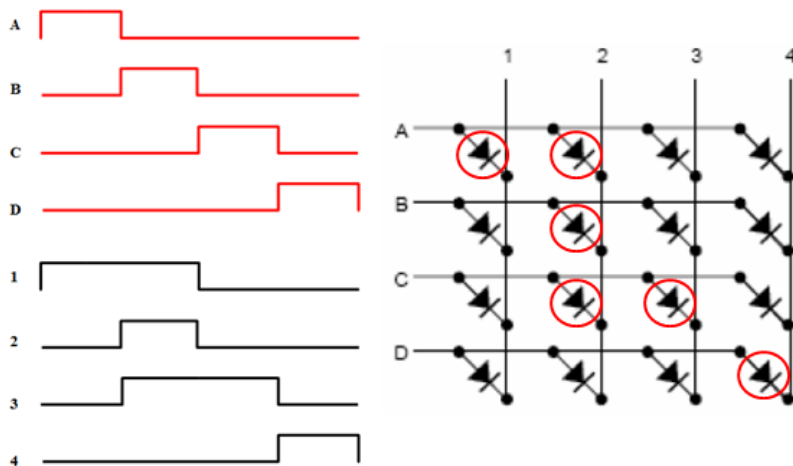


Fig. 2.11. Multiplexat d'una matriu de LEDs.

3. Solució tècnica del panell.

3.1. Pantalla tàctil

Després de valorar les principals funcions que haurà de desenvolupar el panell tàctil, s'ha arribat a la conclusió que el tàctil resistiu és el més indicat per aquest tipus de projecte. El tàctil capacitatiu s'ha descartat ràpidament per les següents tres raons:

- Cost molt elevat comparat amb el tàctil resistiu.
- Necessitat d'incorporar un controlador entre tàctil i microcontrolador (implica més cost).
- Alta complexitat d'interacció per la programació del tàctil.

Un cop determinada quina és la tecnologia de tàctil que s'utilitzarà en aquest projecte, s'ha hagut d'escollir entre el tàctil de 4 fils i el tàctil de 5 fils. Finalment, l'elecció final ha estat utilitzar un tàctil de 4 fils.

La complexitat a nivell programari entre els dos tàctils és molt semblant, els dos criteris principals que han fet decantar-se per la utilització del tàctil de 4 fils són:

- Cost: El cost del tàctil de 5 fils s'aproxima a un 45 % més del cost que té el tàctil de 4 fils.
- Entorn de treball: Aquest projecte està pensat per ser utilitzat a l'interior d'un laboratori i per estudiants universitaris.

L'entorn de treball ha sigut el que definitivament ha determinat que no era necessari augmentar el pressupost en utilitzar un tàctil de 5 fils, ja que s'ha considerat que el risc de que es ratlli la pantalla és força baix. Les característiques que ofereix el tàctil de 5 fils, fan que aquest s'utilitzi més per aplicacions en que la capa superior es pugui veure afectada.

3.2. Panell d'il·luminació matricial.

La matriu que s'utilitzarà per la il·luminació del teclat tindrà un disseny propi, observar Fig. 3.1., i els LEDs seran de color del verd, ja que després de realitzar unes proves al laboratori aquests són els que han il·luminat amb més intensitat.

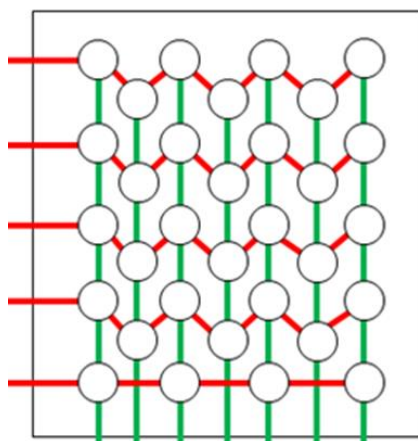


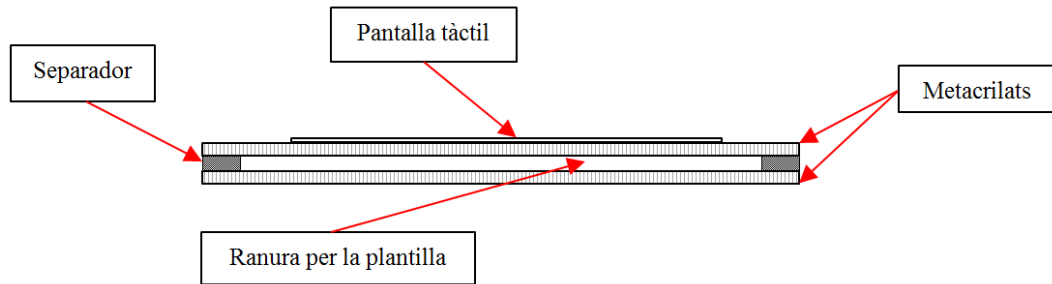
Fig. 3.1. Distribució dels LEDs personalitzada.

Pel que fa el control de la matriu, s'ha escollit utilitzar l'expansor de ports MCP23S17, el qual es comunicarà amb el microcontrolador a través de la interfície SPI. Això és degut a que el panell tàctil que es construirà serà un mòdul el qual es connectarà i es desconnectarà molt sovint amb la plataforma MCLS-modular, ja que només s'utilitzarà en un número determinat de pràctiques. Al contenir una matriu de LEDs, provoca que es requereixi un gran número d'E/S del microcontrolador. Així que, si pel control de les files i columnes de la matriu s'utilitzés connexions directes al microcontrolador, s'haurien de desconnectar i connectar un gran número de cables representant una gran incomoditat per l'usuari a l'hora de treballar amb el panell tàctil. En canvi, amb la utilització del MCP23S17, només es necessitaria 3 cables per a la connexió microcontrolador-matriu de LEDs a través del bus SPI.

3.3. Incorporació del teclat.

Com la idea és treballar amb diferents geometries de teclat, s'ha buscat una solució que permetés visualitzar, a través de la pantalla tàctil, el teclat que s'estigués utilitzant en aquell moment i que a la vegada sigui fàcil de reemplaçar-lo per un altre.

Per aconseguir-ho, s'ha dissenyat una estructura *sandwich* formada per dues peces de metacrilat. Entre mig de les dues peces, hi anirà una làmina de plàstic transparent o de paper vegetal, en el qual hi haurà dibuixat un teclat o diferents geometries que s'utilitzaran com a entrada de dades. Per la làmina s'utilitzen aquests dos tipus de materials, ja que una làmina de plàstic transparent permet la visualització a través d'ella i un paper vegetal es veuria il·luminada la zona premuda per l'usuari sense tenir visibilitat directa als LEDs.



- Fig. 3.2. Estructura *sandwich* formada per dues peces de metacrilat.

4. Entrenador MCLS-modular.

A continuació es farà una petita descripció de la plataforma de treball MCLS-modular, que com s'ha comentat anteriorment, serà amb la plataforma que treballarà el panell tàctil.

4.1. Introducció.

El MCLS modular és un panell de connexions que permet inserta diferents unitats de microcontrolador i mòduls d'experimentació. Aquest ha estat desenvolupat com una eina d'ensenyament i d'entrenament en microcontroladors, davant la situació actual del mercat i la demanda dels centres d'ensenyament.

És una plataforma de treball àmpliament flexible i oberta a allò relacionat amb els components del hardware:

- Treballa amb microcontroladors, microprocessadors i processadors digitals de senyals de diferents fabricants (Infineon, Motorola, ATMEL, MICROCHIP, Texas Instruments).
- Àmplia i expansible provisió de components de perifèrics (mòduls d'experimentació).
- Mòduls d'experimentació i assaig de configuració lliure.
- Unitats de microcontrolador intercanviables.
- Components reemplaçables o amb capacitat de ampliació en tot moment.
- Components de hardware perifèric d'incorporació lliure.



Fig. 4.1. MCLS modular amb els mòduls d'experimentació.

4.2. Hardware.

4.2.1. Plataforma d'experimentació.

La plataforma té forma de pupitre on la cara superior (310 x 166 mm) es troben connectors per la connexió de les unitats del microcontrolador (mitjançant unitats adaptadores) i dels mòduls experimentals. Per tenir una connexió segura de les unitats i dels mòduls en el panell, s'utilitza un sistema de connexió de laboratori de 2 mm.



Fig. 4.2. Plataforma d'experimentació MCLS-modular.

A la caixa es troba instal·lada una alimentació de corrent secundària a prova de curtcircuits i proporciona una alimentació pels mòduls de +5V (U5P) respecte GND. Si es requereix una altre valor de tensió, es poden generar per mitjà d'un mòdul d'experimentació especial o es poden alimentar des de l'exterior.

A la part posterior de la plataforma hi ha l'endoll per a l'alimentació i el connector D-SUB de 9 pins per a la connexió en sèrie amb l'ordinador principal (Host-PC), observar la Fig. 4.3.

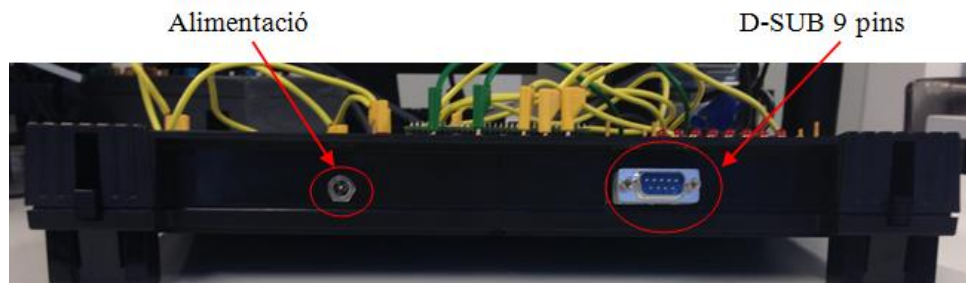


Fig. 4.3. Part posterior del entrenador MCLS-modular.

Dades tècniques	
RAW DC	DC 7,5...12 V (6 W).
Tensió de servei	+5V / 0,5 A
Connexions de la placa	
U5P	Alimentació pels mòduls. +5V respecta GND.
GND	Massa de l'aparell.
TxD	Connexió de la senyal de transmissió en sèrie del panell del microcontrolador al PC.
RxD	Connexió de la senyal de recepció en sèrie del PC al panell del microcontrolador.
Entrada de tensió placa	Alimentació de la placa (RAW DC).
SUB-D de 9 pins	PC a través de la interfície en sèrie (V.24 / RS232).

Taula. 4.1. Característiques de la plataforma MCLS-modular.

4.2.2. Unitat adaptadora de 8 bits.

La unitat adaptadora de 8 bits s'utilitza per col·locar els mòduls de microcontroladors sobre ella, sen la seva funció principal la connexió per contacte dels perifèrics *on-chip* del microcontrolador. A través d'aquesta unitat, també es realitza la connexió en sèrie del corresponent mòdul del microcontrolador i de la plataforma d'experimentació. Es disposa d'un Reset pels mòduls d'experimentació.

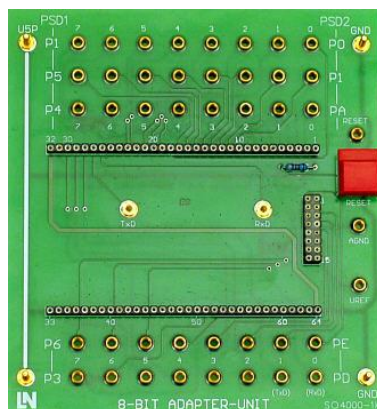


Fig. 4.4. Unitat adaptadora de 8 bits.

Connexions	
U5P	+5V respecta GND.
GND	Connexió a massa
Reset	Generació d'un Reset pel microcontrolador.
Entrada AGND	Connexió de la massa per l'ADC.
Entrada UREF	Connexió per la tensió de referència per l'ADC.
PortX i ANPORT	Connexions dels corresponents ports digitals i analògics del microcontrolador.

Taula. 4.2. Connexions de la unitat adaptadora de 8 bits.

4.2.3. Mòdul PSD1-FLASH.

Com s'ha comentat anteriorment, aquesta plataforma té la capacitat de poder treballar amb diferents mòduls de microcontroladors. En aquest cas, el laboratori d'electrònica del Tecnocampus està equipat amb el Mòdul PSD1-FLASH (Fig.4.5.) i per tant, serà el que s'explicarà en aquest apartat.



Fig. 4.5. Mòdul PSD1-FLASH.

La unitat PSD1-FLASH és un mòdul que conté el microcontrolador C515C de l'empresa Infineon Technologies AG, en el qual s'ha ampliat amb memòries RAM i Flaix a través del seu bus extern.

Altres components addicionals són: un convertidor de nivell per generar els nivells necessaris per la comunicació amb el PC i un circuit especial per la generació de la senyal de reset.

La freqüència en que treballa aquest microcontrolador C515C és de 6 MHz, per tant el temps d'execució per un cycle de màquina és de 1µs.

Dades tècniques	
Tensió de servei	+5 V / 0,035 A
Interfície sèrie	TxD RxD RS232 compatible
Microcontrolador	Infineon C515C
Freqüència del rellotge	6 MHz
Ports	4 ports bidireccionals Convertidor A/D de 10 bits amb 8 entrades múltiplex 3 temporitzadors programables de 16 bits Controlador full CAN Entrada per tensió de referència
Memòria externa	256kByte Flash 32kByte sRAM

Taula. 4.3. Dades tècniques del mòdul PSD1-FLASH.

4.3. Software.

4.3.1. Entorn de desenvolupament integrat (IDE).

L'IDE esta preparat per treballar amb Windows NT, 2000 i Windows XP, per tant es pot dir que en aquest aspecte pot ser un inconvenient si es vol treballar amb sistemes operatius més moderns com Windows 7,8 o 10. Els llenguatges de programació són Assembler i C.

El IDE s'encarrega de les següents tasques essencials de tot el sistema:

- Funció d'integració de totes les eines de desenvolupament del software necessàries.
- Gestió del projecte.
- Facilitació d'interfícies per a la integració flexible de les eines de desenvolupament.

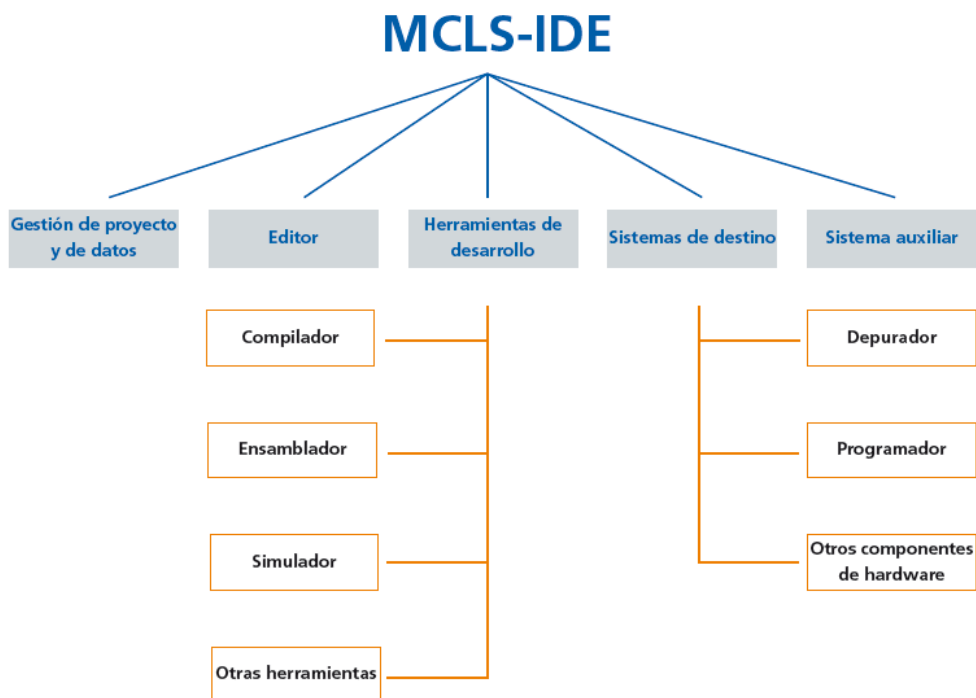


Fig. 4.6. Tasques del entorn de desenvolupament integrat (IDE).

5. Microcontrolador C515C

Com s'ha vist a l'apartat anterior, el microcontrolador que s'utilitzarà amb l'entrenador MCLS-modular serà el C515C. En aquest apartat, s'exposaran les característiques principals que ofereix aquest microcontrolador i una explicació dels perifèrics que s'utilitzaran per la comunicació entre el prototip i el C515C.

5.1. Característiques principals.

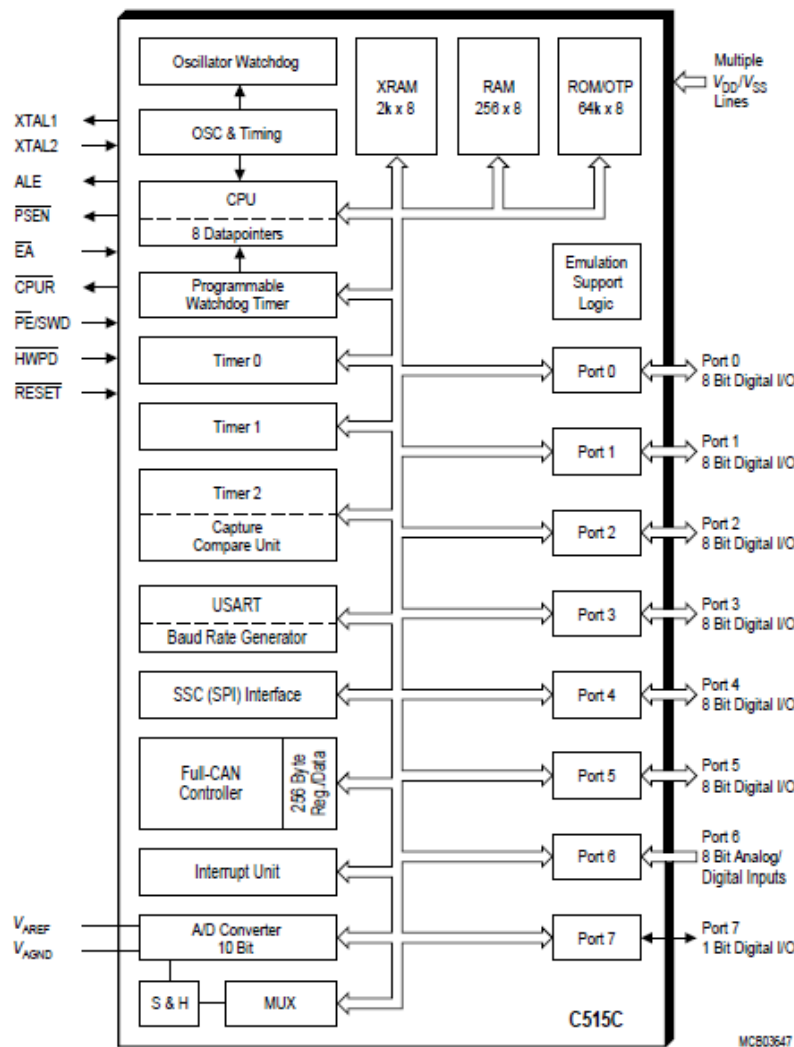


Fig. 5.1. Diagrama de blocs del C515C.

Les característiques principals del C515C són:

- CPU de 8 bits amb ampli joc d'instruccions.
- Processador booleà.
- 256 bytes de RAM interna.
- 2 KB de XRAM interna.
- Fins a 64 KB de memòria de dades externa.
- 8 punters de dades.
- Bus extern per l'expansió extern de la memòria de dades i la memòria de programa.
- Temps de cicle d'1µs per les instruccions amb una freqüència de 6 MHz.
- Compatible amb processadors més antics, fins el C515C.

5.1.1. Perifèrics *on-chip*.

- 6 ports d'E/S digitals de 8 bits (port 6 només d'entrada).
- 3 temporitzadors / comptadors 16 bits.
- UART (full dúplex) amb generador de velocitat en bauds programable.
- 15 vectors d'interrupció i 4 nivells de prioritat.
- Generador d'impulsos de rellotge *on-chip*.
- Bus CAN.
- Interfície SPI.
- Temporitzador watchdog i oscil·lador watchdog.
- ADC amb resolució de 10 bits.

- 2 KB de XRAM integrada.

5.1.2. Registres CPU.

- Acumulador **A** (8 bits).
- Acumulador Auxiliar **B** (8 bits).
- Registres de treball **R0** a **R7** en 4 bases de registres (cadascuna de 8)
- Paraula d'estat de programa **PSW** (8 bits).
- Punter de dades **DPTR** (16 bits).
- Comptador de programa **PC** (16 bits).
- Punter de pila **SP** (8 bits).

5.2. Bus SPI

És un bus de tres línies, sobre les quals es transmeten paquets d'informació de 8 bits. Cada una d'aquestes tres línies porta la informació entre els diferents dispositius connectats al bus. Cada dispositiu connectat al bus pot actuar com a transmissor i receptor al mateix temps, per tant aquest tipus de comunicació serial és *FULL DUPLEX*. Dues d'aquestes línies transfereixen les dades (una en cada direcció) i la tercera línia és la del rellotge.

Els dispositius connectats al bus són definits com a mestre (master en anglès) i esclau (slave en anglès). Un mestre és aquell que inicia la transferència d'informació sobre al bus i genera les senyals de rellotge i control, mentre que un esclau és un dispositiu controlat pel mestre. Cada esclau és controlat sobre el bus a través d'una línia selectora anomenada *chip select* o *select slave*, d'aquesta manera, l'esclau és activat només quan aquesta línia és seleccionada. En el cas de tenir més d'un esclau, es tindran tantes línies de selecció com esclaus hi hagin. Per tant, en aquest projecte el mestre serà el C515C i l'esclau serà el MCP23S17.

En un temps determinat, només pot existir un mestre sobre el bus. Qualsevol dispositiu esclau que no estigui seleccionat, s'ha d'inhabilitar a través de la línia selectora (chip

select). En aquest cas no hi haurà cap problema ja que només es treballa amb un mestre i un esclau.

A la Fig. 5.2. Es pot observar l'esquema de connexió entre un mestre i tres esclaus.

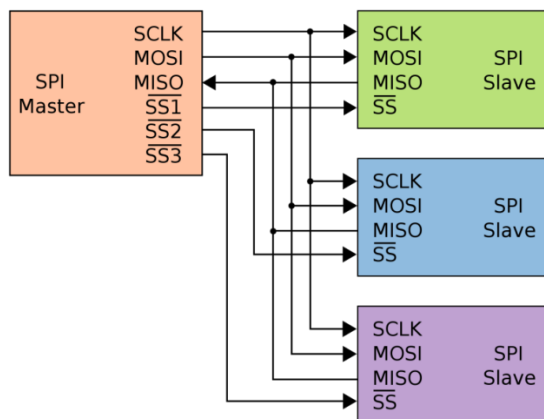


Fig. 5.2. Connexió SPI (1 mestre – 3 esclaus).

A continuació s'identifica cada línia del bus SPI:

- La senyal de la línia del rellotge (SCLK) és generada pel mestre i sincronitza la transferència de dades.
- La línia MOSI (Master Out Slave In) transporta les dades del mestre cap a l'esclau.
- La línia MISO (Master In Slave Out) transporta les dades del esclau cap al mestre.

Totes les transferències de dades són sincronitzades per la línia de rellotge d'aquest bus. Un bit es transferit per cada cicle de rellotge i totes les línies del bus transmeten la informació cap una sola direcció.

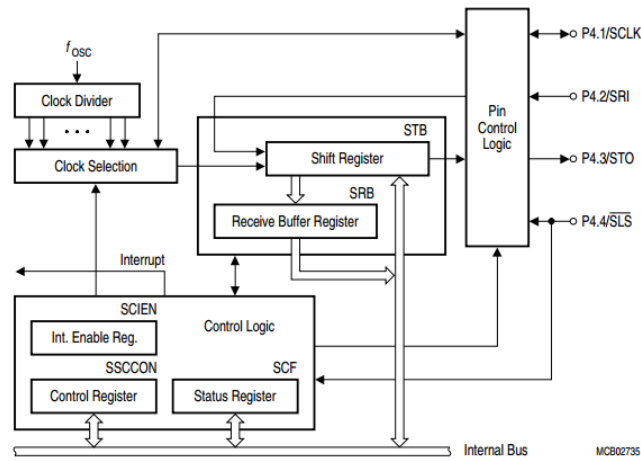


Fig. 5.3. Synchronous Serial Channel del C515C.

Com es pot veure en la Fig. 5.3. els pins utilitzats per la comunicació del C515C amb el MCP23S17 són:

- P4.1 /SCLK: Senyal del rellotge
- P4.2/SRI: Línia MISO.
- P4.3/STO: Línia MOSI.
- P4,4/SLS: Només s'utilitza quan actua d'esclau. No s'utilitza en aquest projecte.

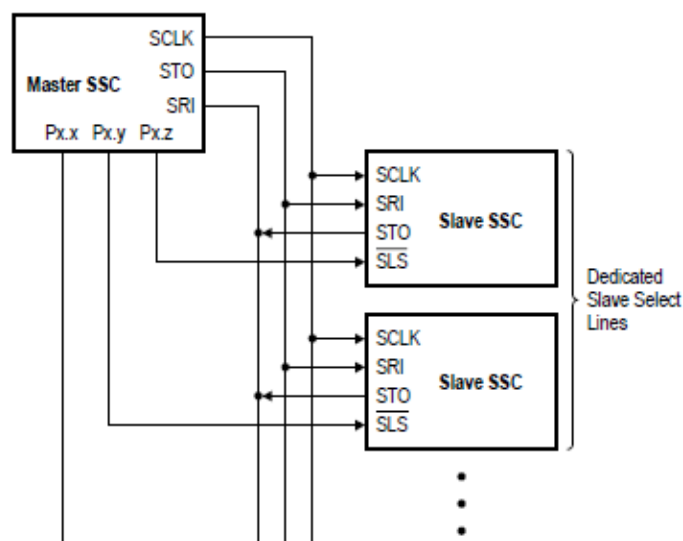


Fig. 5.4. Connexió mestre-esclau C515C.

La interfície SPI té dos bits de configuració, anomenats CPOL i CPHA. CPOL determina l'estat en que es troba la línia de rellotge quan aquesta no està activa, quan (CPOL=0) es troba en nivell baix i amb (CPOL=1) es troba a nivell alt. CPHA determina en quin flanc de rellotge les dades són desplaçades cap a l'exterior o cap a l'interior del mestre.

Cada bit té dos estats possibles, per tant, permet fins a quatre combinacions possibles, observar la Fig. 5.5. Si dos dispositius SPI desitjant comunicar-se entre si, aquests han de tenir la mateixa polaritat de rellotge (CPOL) i la mateixa fase de rellotge (CPHA).

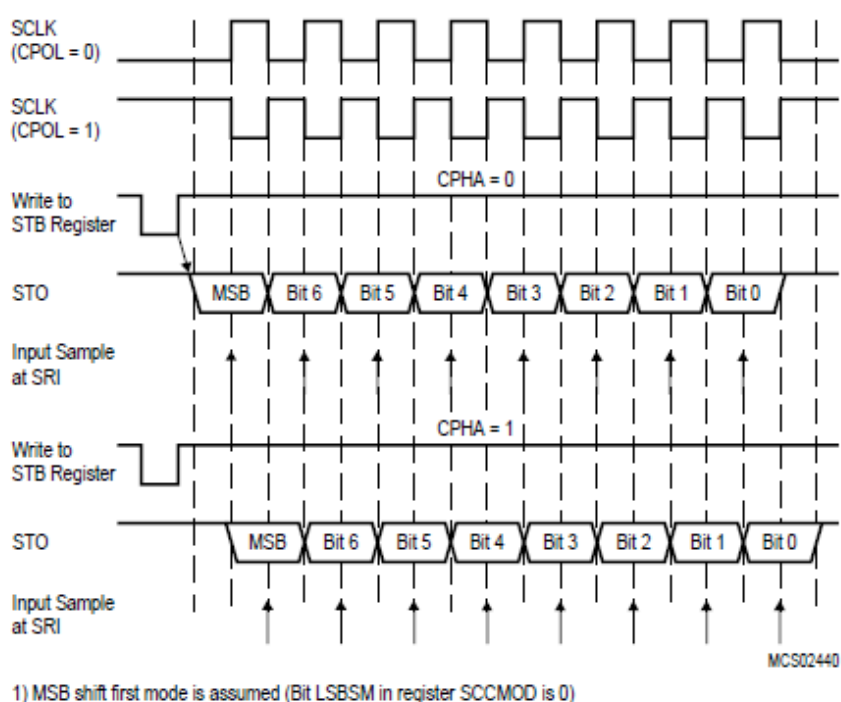


Fig. 5.5. Modes de rellotge definits pel protocol SPI en mode mestre.

La capacitat de multi-mode combinada amb un simple registre de desplaçament fa que el bus SPI sigui molt versàtil.

El mode requerit per una determinada aplicació, vindria donat pel dispositiu esclau, que en aquest projecte seria el panell.

5.3. Convertidor A/D.

El C515C està equipat amb un convertidor analògic-digital (ADC) de 10 bits amb 8 canals d'entrades analògiques.

El ADC ofereix les següents característiques:

- 8 canals d'entrada multiplexats (PORT 6), que també es poden utilitzar com a entrades digitals.
- Resolució de 10 bits.
- Mode de conversió individual o continu.
- Començament de conversió inicialitzada internament o externament..
- Generació de petició d'interruptió després de cada conversió.

Els principals blocs funcionals del convertidor A/D es mostren a la Fig. 5.6.

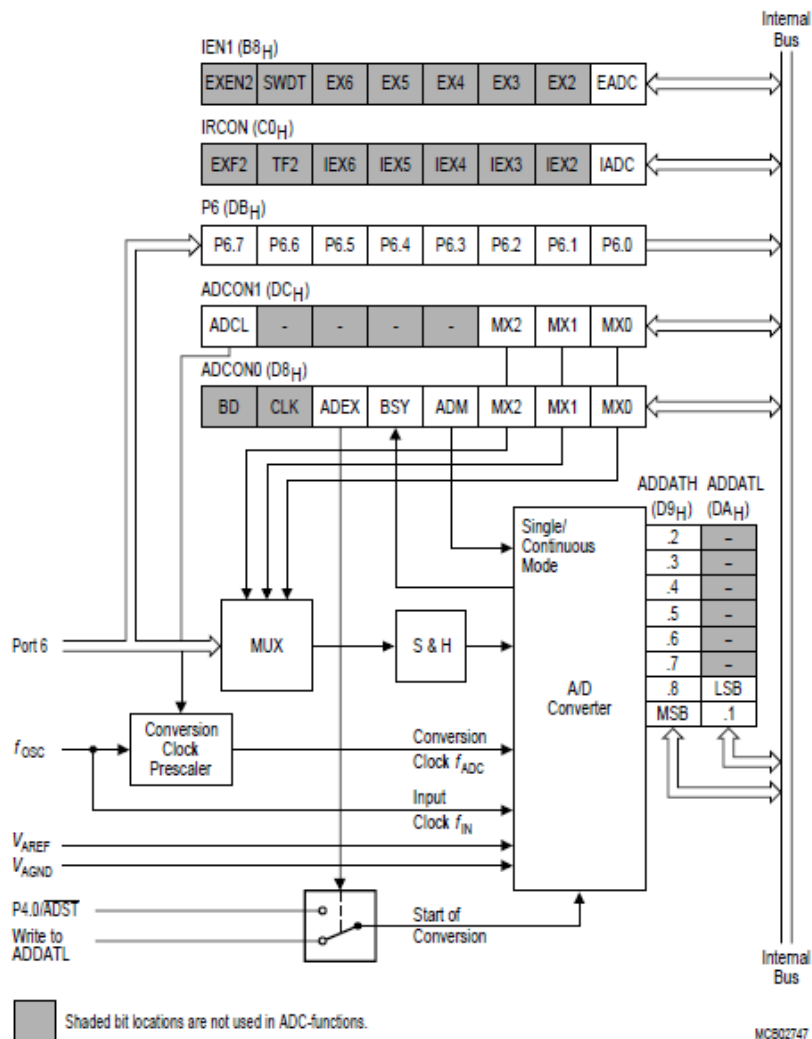


Fig. 5.6. Diagrama de blocs del convertidor A/D.

6. Descripció i funcionament del hardware.

En aquest capítol es realitzarà una descripció dels components que s’han utilitzat per la construcció del prototip i dels circuits electrònics que s’han dissenyat pel seu funcionament.

6.1. Diagrama de blocs general.

El prototip està format per dos blocs principals els quals es comuniquen entre ells a través del microcontrolador. Aquest dos blocs són, com es pot observar en la Fig. 6.1., la pantalla tàctil i la matriu de LEDs.

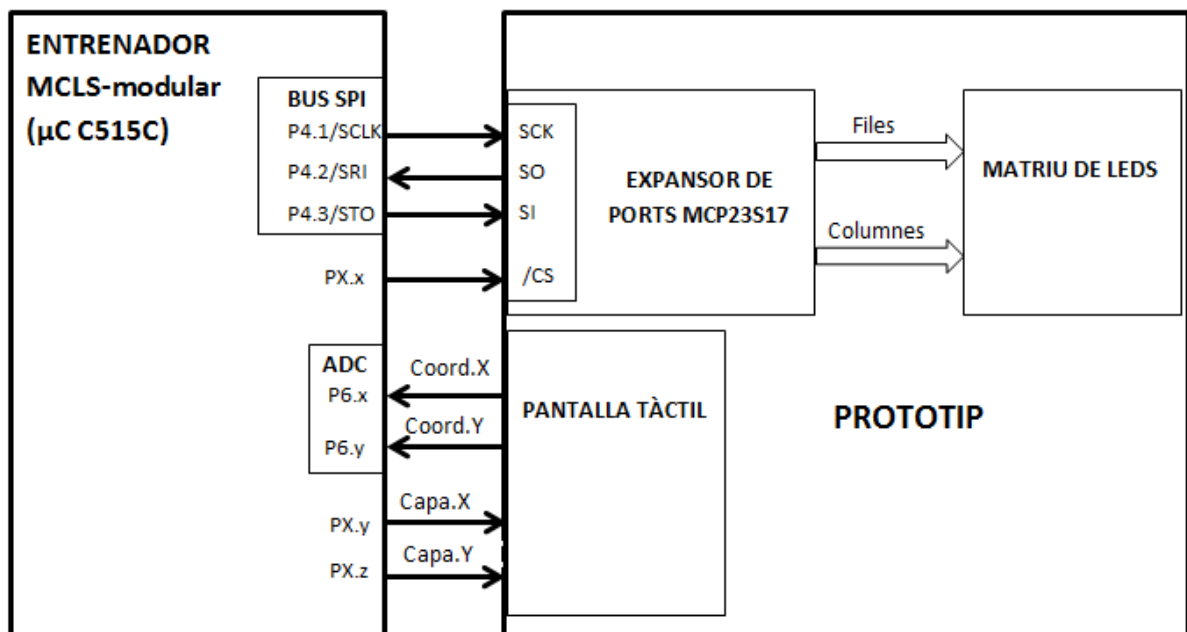


Fig. 6.1. Diagrama de blocs del prototip.

6.2. Pantalla tàctil resistiva de 4 fils.

El tàctil resistiu que s’incorporarà en el panell és de la marca AMT model 9503. Després de realitzar proves al laboratori s’ha obtingut el valor de les resistències de cada superfície, les quals es poden observar a la Fig. 6.2., conjuntament amb les seves característiques principals.

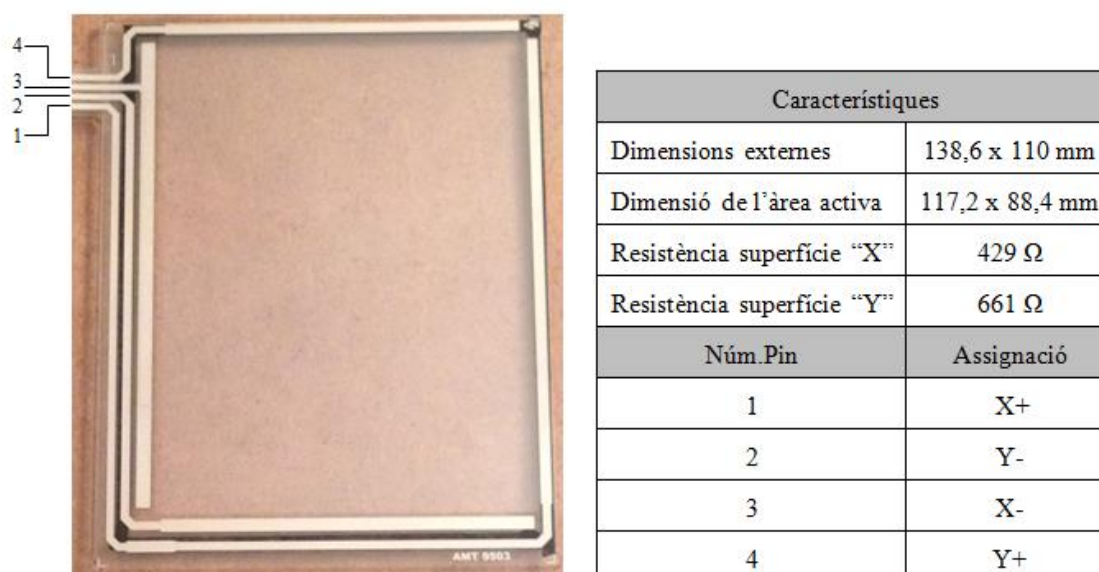


Fig. 6.2. Pantalla tàctil utilitzada en el prototip.

6.2.1. Circuit d'interfície entre la pantalla tàctil i el MCLS-modular.

Per obtenir les coordenades de la pantalla tàctil, s'ha dissenyat el circuit que es mostra en la Fig. 6.3. Aquest serà controlat pel microcontrolador a través de 4 connectors:

- Per la selecció de les superfícies X i Y de la pantalla s'utilitzen 2 connectors del panell, els qual seran controlats per 2 pins d'E/S digitals del microcontrolador:
 - CONT-X: Controla la superfície X.
 - CONT-Y: Controla la superfície Y.
- Per la lectura de les coordenades X i Y s'utilitzaran els 2 altres connectors, els quan aniran connectat al convertidor Analògic-Digital del microcontrolador:
 - READ-X: Lectura de la coordenada X.
 - READ-Y: Lectura de la coordenada Y.

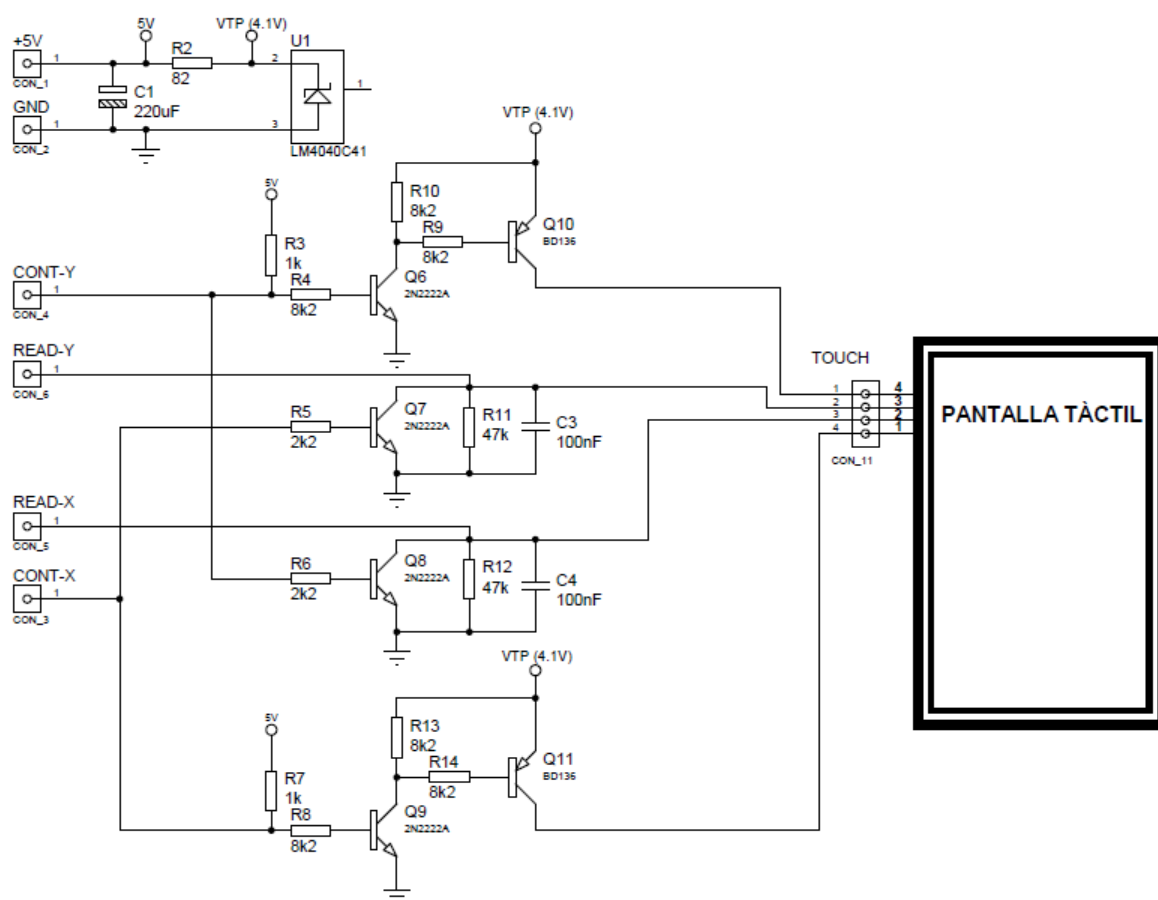


Fig. 6.3. Circuit d’interfície entre la pantalla tàctil i el microcontrolador.

Com s’ha comentat anteriorment, el procediment que es seguirà per determinar la coordenada d’una pulsació en el tàctil es dividirà en dos passos: primer es determinarà la coordenada X i posteriorment la coordenada Y del punt on s’ha produït el contacte.

Per habilitar la lectura de la coordenada X, s’haurà d’alimentar la superfície X i deixa lliure la superfície Y per la mesura, mentre que per obtenir la coordenada Y, s’haurà de fer el mateix però al inrevés, és a dir, alimentar la superfície Y i deixar lliure la superfície X.

Per fer-ho possible, s’ha dissenyat un circuit que funciona amb transistors NPN i PNP, que depenen del valor lògic que envii el microcontrolador als connectors CONT-X i CONT-Y, els transistors treballaran en tall o en saturació. Amb aquest mètode s’espera que en tot moment hi hagi una superfície que estigui alimentada mentre que l’altre quedi habilitada per la lectura de la coordenada.

Perquè es puguin obtenir les coordenades, els connectors controlats pel microcontrolador han de complir les condicions mostrades a la taula 6.1.

Coordenada "X"			
Connector N°	Denominació	Estat	Pin Microcontrolador
3	CON-X	H	P4.5
4	CONT-Y	L	P4.6
5	READ-X	Habilitat	P6.1
6	READ-Y	Inhabilitat	P6.2.
Coordenada "Y"			
Connector N°	Denominació	Estat	Pin Microcontrolador
3	CON-X	L	P4.5
4	CONT-Y	H	P4.6
5	READ-X	Inhabilitat	P6.1
6	READ-Y	Habilitat	P6.2.

Taula. 6.1. Obtenció de les coordenades de la pantalla tàctil.

Un cop es compleix el criteri descrit a la taula, el circuit respon de la següent forma:

- **Coordenada "X":** Quan el CON-X = nivell lògic "1", el pin 1 del tàctil queda connectat a Vtp (4,1V) a través del transistor Q11, mentre que el pin 3 queda connectat a massa a través del transistor Q7. D'aquesta manera, la superfície X queda alimentada.

Amb el CON-Y = nivell lògic "0" provoca que els transistors controlats per aquest connector quedin en tall, habilitant el pin número 2 de tàctil per la mesura de la coordenada X, a través del connector READ-X.

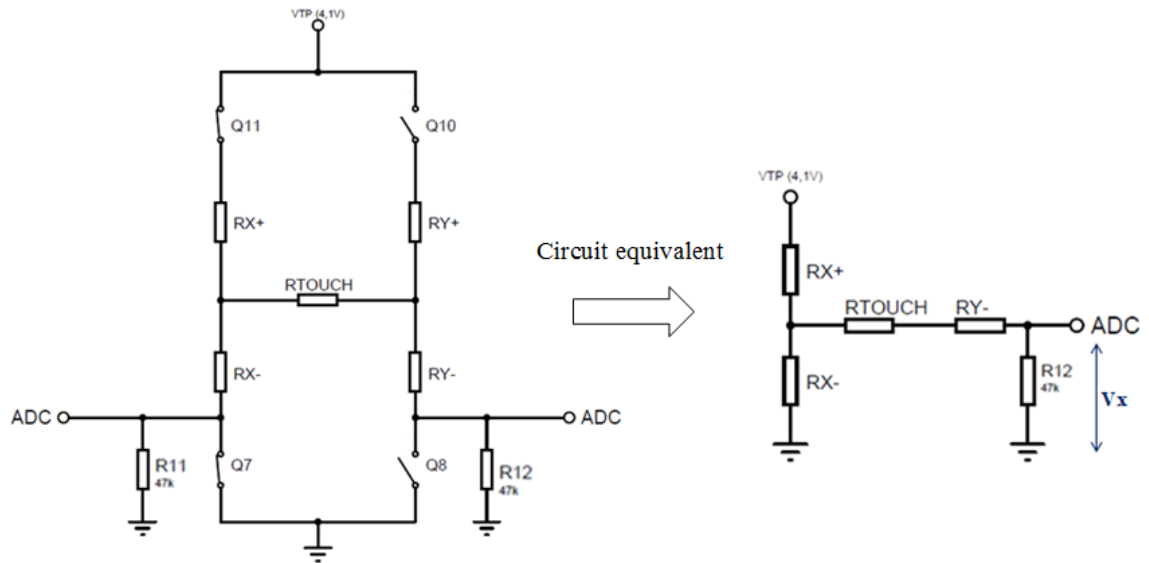


Fig. 6.4. Lectura coordenada X.

- **Coordenada “Y”:** Quan el CON-Y = nivell lògic “1”, el pin 4 del tàctil queda connectat a Vtp (4.1V) a través del transistor Q10, mentre que el pin 2 queda connectat a massa a través del transistor Q8. D’aquesta manera, la superfície Y queda alimentada.

Amb el CON-X = nivell lògic “0” provoca que els transistors controlats per aquest connector quedin en tall, habilitant el pin número 3 del tàctil per la mesura de la coordenada Y, a través del connector READ-Y.

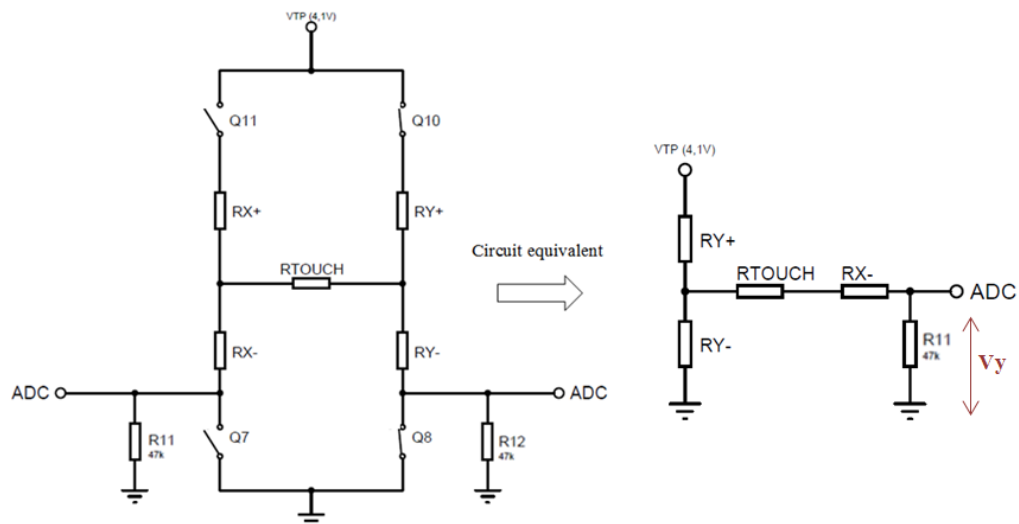


Fig. 6.5. Lectura de la coordenada Y.

Com es pot observar a les Fig. 6.4 i Fig. 6.5., la resistència que serveix per descarregar el condensador, té un valor molt elevat comparat amb el valor de la resistència de la pantalla. Això, provoca que la intensitat que circuli per la resistència de $47\text{K}\Omega$ sigui menyspreable ($I \approx 0$) i la tensió de mesura es comporti de forma lineal. D'aquesta manera, menyspreant aquesta intensitat el valor de V_X i V_Y , vindrien determinats per un divisor de tensió format per les resistències de la pantalla, observar l'equació (6.1) i (6.2)

$$V_X = \frac{R_{X-}}{R_{X+} + R_{X-}} \cdot V_{TP} \quad (6.1)$$

$$V_Y = \frac{R_{Y-}}{R_{Y+} + R_{Y-}} \cdot V_{TP} \quad (6.2)$$

Un cop explicat el funcionament del circuit que controlarà la pantalla tàctil, s'ha de tenir en compte que la tensió mesurada en un punt concret de la pantalla, pot variar depenen de la tensió en que estigui alimentada. Per aquest motiu, s'ha decidit utilitzar un circuit integrat de referència de tensió per assegurar una tensió estable i evitar lectures de coordenades errònies. El CI que s'utilitza és el LM4040C41, el qual fixarà la tensió a 4.1V.

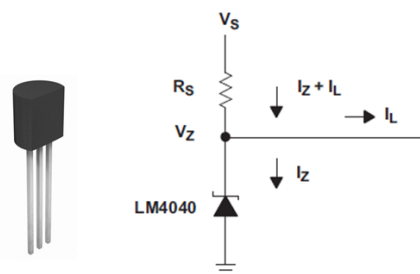


Fig. 6.6. Esquema de funcionament del LM4040C41.

Si s'observa la Fig. 6.6. es necessita incorporar una resistència (R_s), la qual limita el corrent d'alimentació. Per escollir el valor de R_s s'ha tingut en compte els valors mínims i màxims d'intensitat que pot circular pel LM4040C41 ($I_{Z\text{mín}} = 50\mu\text{A}$ i $I_{Z\text{màx}} = 15\text{mA}$) i la intensitat màxima que pot consumir el tàctil. Per saber quina intensitat màxima consumirà el tàctil s'ha calculat la intensitat que circularà per ell en els pitjors dels casos. Aquest es donarà quan la superfície amb menys resistència estigui habilitada i la lectura de la coordenada sigui la màxima proporcionada pel tàctil, que en aquest cas seria de 4,1V.

$$I_{MÀX} = I_{SUPX} + I_{MESURA} = \frac{4,1 V}{429 \Omega} + \frac{4,1 V}{47K\Omega} = 9,56 mA + 87,23 \mu A = 9,65 mA \quad (6.3)$$

Com es pot observar a l'equació (6.3), la intensitat màxima que consumirà la pantalla serà de 9,65 mA. Amb aquesta equació, també s'afirma que el corrent que circularà pel pin de la lectura serà molt pròxim a 0.

Un cop calculada la intensitat màxima que circularà pel tàctil, també s'ha de tenir present la intensitat que circularà per la resistència de 8k2 connectada entre VTP (4,1V) i els col·lectors de Q6 i Q9, i la intensitat que circularà per la base del transistor Q10 i Q11 quan aquests estiguin saturats.

La intensitat que circularà per 8K2 serà de 0,5 mA, equació (6.10), mentre que la intensitat de base de Q10 i Q11 serà de 0,43, equació (6.9). Per tant, la intensitat màxima que necessitarà proporcionar la resistència de Rs serà de 10,58 mA. Per respectar la $I_{Zmín}$ del LM4040C41, s'escull un valor de 0,2 mA.

$$R_s = \frac{(V_s - V_z)}{(I_L + I_z)} = \frac{(5 - 4,1)}{(10,58 + 0,2)mA} = 83,49 \Omega \quad (6.4)$$

S'escull el valor inferior immediat de les resistències comercials que té disponibles el Tecnocampus, el qual és de 82Ω.

Un cop obtingut el valor de Rs s'ha comprovat que es compleixen tots els requisits marcats pel LM4040C41 per assegurar el seu bon funcionament.

$$I_s = \frac{(V_s - V_z)}{R_s} = \frac{(5 - 4,1)}{82} = 10,97 mA \quad (6.5)$$

Com s'observa a l'equació (6.5) la intensitat proporcionada per RS és de 10,97 mA. Aquest valor és superior al que es necessita pel funcionament del tàctil i a més a més, si la pantalla quedés desconnectada, Iz continuaria sent inferior a 15 mA.

Un cop ja obtingut els valors de les intensitats, s'escull els transistors que formaran el circuit. Per disponibilitat de material, s'utilitza els transistors 2N2222A i BD136 que ofereix el Tecnocampus.

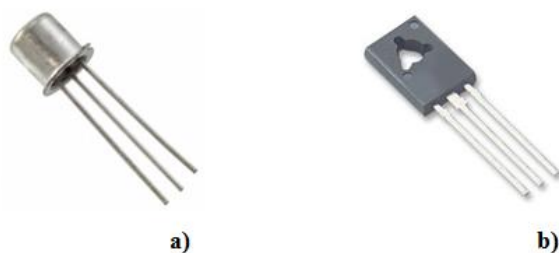


Fig. 6.7. a) NPN 2N2222A ($I_{c_{m\grave{a}x}} = 0,8A$). b) PNP BD136 ($I_{c_{m\grave{a}x}} = 1,5A$).

Finalment, es procedeix al càlcul per obtenir el valor de les resistències de base del transistors. Perquè el valor de les resistències de base siguin vàlides s'ha complert les condicions establertes a la taula .

Estat	Condicions	Equacions
SATURACIÓ	$(I_C/I_B) < \beta$ $I_C > 0$	$V_{BE} = V_{BE_\gamma}$ $V_{CE} = 0 (*)$
TALL	$V_{BE} = V_{BE_\gamma}$	$I_C = 0$ $I_B = 0$ $I_E = 0$

Taula. 6.2. Condicions dels estats del transistors.

(*): La saturació és una franja estreta; si bé, per fer els càlculs en saturació s'ha pres $V_{CE}=0$.

Per poder saturar els transistors que controlaran el tàctil, s'ha de tenir en compte que els ports quasi-bidireccionals del microcontrolador C515C necessiten una resistència de pull-up a la sortida. Això és degut a que cada port conté resistències internes de pull-up de gran valor òhmic que limita el corrent de sortida a nivell alt (I_{OH}) del port de sortida a uns pocs microampers, insuficients per saturar els transistors.

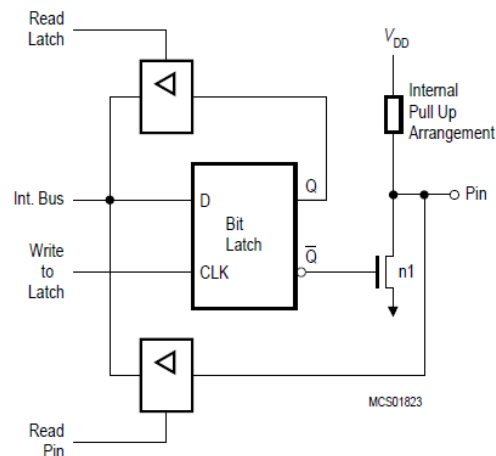


Fig. 6.8. Circuit de sortida bàsic dels Ports 1 a 5 i 7.

Com es pot observar a la Fig. 6.9., el port del microcontrolador controla a dos transistors en paral·lel. Per calcular els valors de les resistències de base, s'ha assignat una tensió de 2,5V a V1.

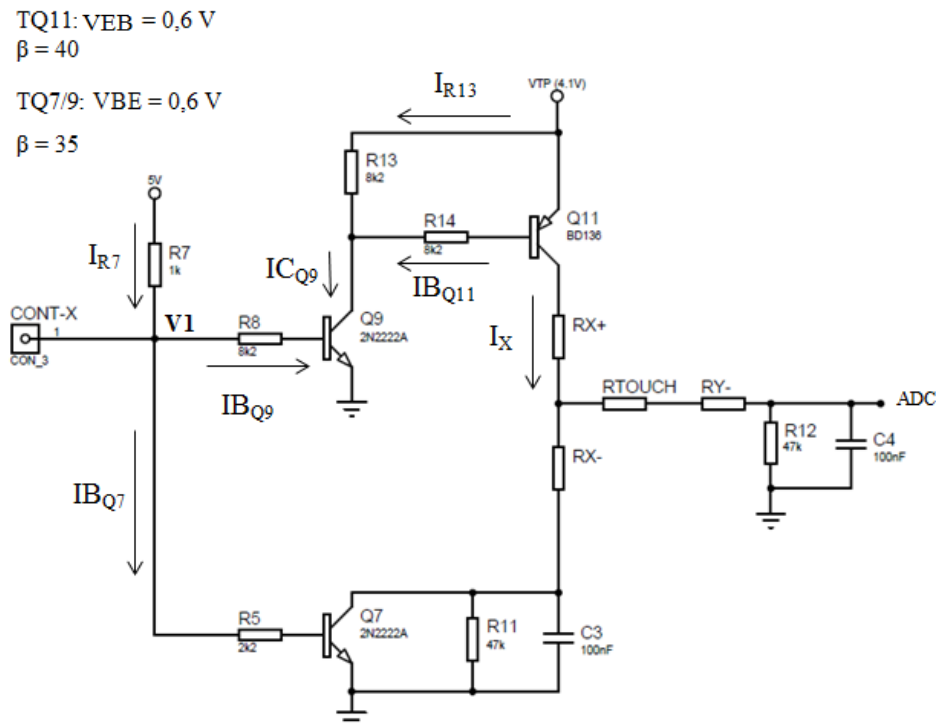


Fig. 6.9. Circuit de control de la superfície X de la pantalla tàctil.

Per obtenir els valors de les resistències de base que assegurin la saturació dels transistors, s'han separat els càlculs en dos blocs. Primer s'ha calculat la resistència de base del Q7,

equació (6.6), i posteriorment les resistències de base del Q11, equació (6.9) i Q9, equació (6.13). Per assegurar que els transistor estiguin en saturació, s'ha utilitzat el valor màxim de la intensitat que podria circular per cada superfície, és a dir, la intensitat de la superfície quan no hi ha contacte mes la intensitat que es sumaria si es produís una lectura de 4.1V.

$$V1 = R5 \cdot IB_{Q7} + VBE \rightarrow R5 = \frac{V1 - VBE}{IB_{Q7}} \rightarrow \text{Condió (} IB > \frac{IC}{\beta} \text{)} \rightarrow$$

$$\rightarrow R5 < \frac{V1 - VBE}{\left(\frac{IC_{MAX}}{\beta}\right)} \rightarrow R5 < \frac{2,5-0,6}{\left(\frac{9,65mA}{35}\right)} \rightarrow R5 < 6.891,19 \Omega$$
(6.6)

Per complir la condició, s'escull un valor per R5 de 2k2Ω. Amb aquesta resistència, la intensitat de base del Q7 serà de 0,87 mA, observar equació (6.7).

$$IB_{Q7} = \frac{V1 - VBE}{R5} = \frac{2,5-0,6}{2,2k} = 0,87 \text{ mA}$$
(6.7)

$$0,87 \text{ mA} > \frac{9,65 \text{ mA}}{35} \rightarrow 0,87 \text{ mA} > 0,28 \text{ mA} \text{ (Compleix condició)}$$

$$VTP = R14 \cdot IB_{Q11} + VEB \rightarrow R14 = \frac{VTP - VEB}{IB_{Q11}} \rightarrow R14 < \frac{VTP - VEB}{\left(\frac{IC}{\beta}\right)} \rightarrow$$
(6.8)

$$\rightarrow R14 < \frac{4,1 - 0,6}{\left(\frac{9,65 \text{ mA}}{40}\right)} \rightarrow R14 < 14.507,77 \Omega$$

S'escull un valor comercial per R14 de 8k2Ω. Amb aquesta resistència, la intensitat de base del transistor Q11 serà de 0,43 mA, tal i com es mostra a l'equació (6.9)

$$IB_{Q11} = \frac{VTP - VEB}{R14} = \frac{4,1 - 0,6}{8,2k} = 0,43 \text{ mA}$$
(6.9)

$$0,43 \text{ mA} > \frac{9,65 \text{ mA}}{40} \rightarrow 0,43 \text{ mA} > 0,24 \text{ mA} \text{ (Compleix condició)}$$

Obtingut ja el valor de IB_{Q11} , es calcula el valor de la resistència de base del transistor Q9. Per la resistència entre VTP i col·lector del Q9 s'ha escollit un valor de 8k2Ω (R13), que

sumant-li la intensitat de base provinent del Q11, proporciona una intensitat total al col·lector d'aproximadament 1 mA, observar equació (6.10).

$$I_{R13} = \frac{4,1}{8,2k} = 0,5 \text{ mA} \quad (6.10)$$

$$I_{C Q11} = I_{B Q11} + I_{R13} = 0,43 + 0,5 = 0,93 \text{ mA}$$

$$V1 = R8 \cdot I_{B Q9} + VBE \rightarrow R8 = \frac{V1 - VBE}{I_{B Q9}} \rightarrow \text{Condicció } (I_B > \frac{I_C}{\beta}) \rightarrow \quad (6.11)$$

$$\rightarrow R8 < \frac{V1 - VBE}{\left(\frac{I_C}{\beta}\right)} \rightarrow R8 < \frac{2,5 - 0,6}{\left(\frac{0,93 \text{ mA}}{40}\right)} \rightarrow R8 < 81,72 \text{ k}\Omega$$

S'escull un valor comercial per R8 de 8k2Ω. Amb aquesta resistència, la intensitat de base del Q9 serà de 0,23 mA., observar l'equació (6.12).

$$I_{B Q9} = \frac{V1 - VBE}{R8} = \frac{2,5 - 0,6}{8,2k} = 0,23 \text{ mA} \quad (6.12)$$

$$0,23 \text{ mA} > \frac{0,93 \text{ mA}}{40} \rightarrow 0,23 \text{ mA} > 23,25 \mu\text{A} \quad (\text{Compleix condició})$$

Finalment, perquè s'aconsegueixi obtenir les intensitats de base necessària per la saturació dels transistors Q7 i Q9, s'ha col·locat una resistència de pull-up de 1kΩ, on proporciona una intensitat de 2,5 mA, tal i com es mostra a l'equació (6.13). Amb aquest valor no hi haurà ningun problema per la saturació dels transistors.

$$I_{R7} = \frac{5V - V1}{R7} = \frac{5 - 2,5}{1k} = 2,5 \text{ mA} \rightarrow I_{R7} > I_{B Q9} + I_{B Q7} \rightarrow \quad (6.13)$$

$$\rightarrow 2,5 \text{ mA} > 1,1 \text{ mA}$$

El càlcul del circuit de control de la superfície Y, segueix el mateix procediment que el de la superfície X. Aquest, es pot trobar a l'apartat de càlculs de l'annex.

6.3. Panell matricial d'il·luminació.

Pel disseny de la matriu de LEDs s'ha hagut de tenir en compte que la superfície visible de la pantalla és de 90,4 x 120,2 mm. Per aconseguir una bona distribució dels LEDs, s'ha dividit l'eix horitzontal en 8 parts i l'eix vertical en 10 parts, obtenint així una distància entre LEDs de 11,3 mm al eix X i de 12,02 mm a l'eix Y.

A continuació, a la Fig. 6.10. mostra l'aspecte final que tindrà la matriu de LEDs.

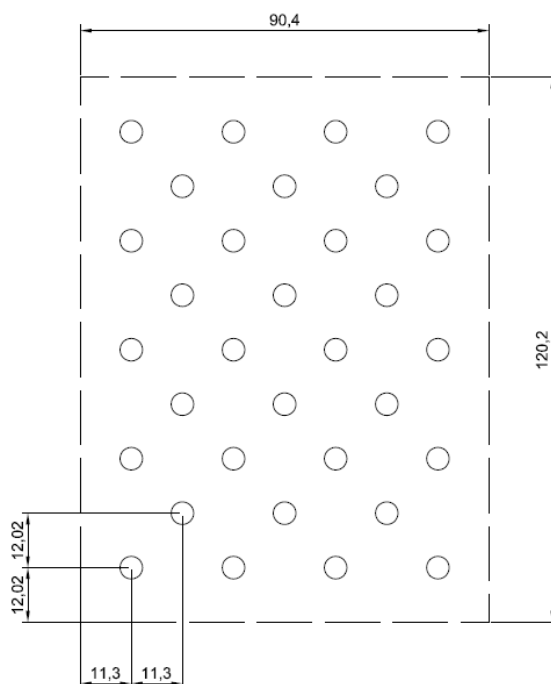


Fig. 6.10. Distribució dels LEDs respecta l'àrea visible del tàctil.

Aquesta matriu de LEDs estarà controlada, com s'ha comentat anteriorment, per l'expansor de ports MCP23S17. Aquest circuit integrat és un dispositiu esclau que funciona amb la interfície SPI i ofereix 16 bits d'E/S extres de forma paral·lela, els quals es reparteixen en 2 ports de 8 bits cada un, anomenats PORTA i PORTB.

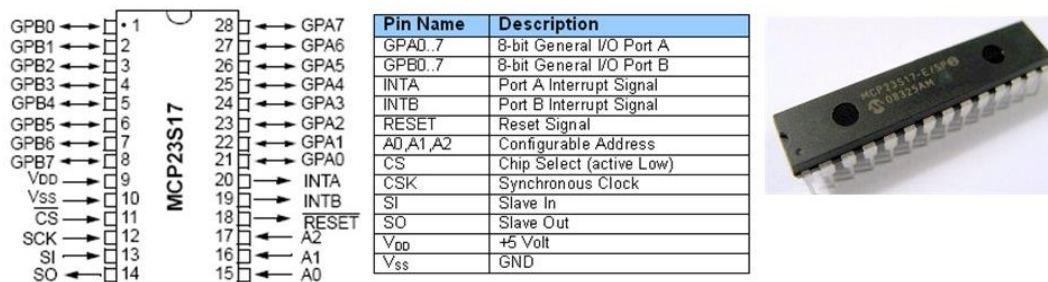


Fig. 6.11. MCP23S17.

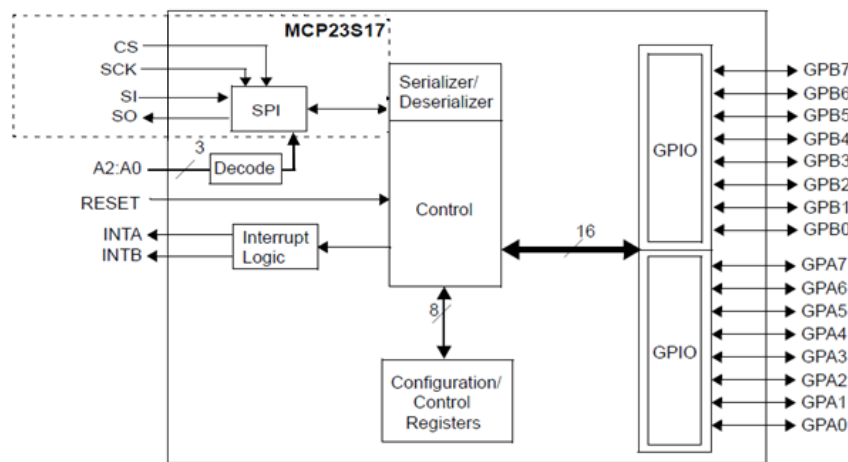


Fig. 6.12. Diagrama de blocs funcionals del MCP23S17.

A continuació s'explica les connexions que utilitza el MCP23S17 per ser controlat pel microcontrolador:

- Slave Input (SI): Entrada del MCP23S17 que va connectada a la sortida de microcontrolador (Master Output).
- Slave Output (SO): Sortida del MCP23S17 que va connectada a l'entrada del microcontrolador (Master input).
- Serial Clock (SCK): Senyal de rellotge del microcontrolador.
- Chip Select (CS): Habilita la transmissió de dades.

La transmissió de dades, entre l'expansor i el microcontrolador, s'efectua en ambdues direccions simultàniament per mitjà dels pins SI i SO. La línia SI s'utilitza per la transmissió de dades del microcontrolador al expansor de ports, mentre que la SO transmet

les dades del expansor de ports al microcontrolador. En aquest projecte només s'utilitzarà el pin SI, ja que no es necessitarà rebre informació del expansor de port pel funcionament de la matriu de LEDs. Tot i així, a l'hora de dissenyar la PCB s'ha contemplat la possibilitat de comunicació entre el microcontrolador i el pin SO, si per algun moment, l'usuari estigues interessat en llegir algun registre del MCP23S17.

El microcontrolador inicia la transmissió de dades posant el pin \overline{CS} del esclau a "0", i quan la senyal de rellotge SCK és enviada, s'inicia l'intercanvi de dades.

Pel control de les columnes i les files s'utilitzaran els dos ports de 8 bits que ofereix el MCP23S17. El PORTB anirà destinat al control de les columnes i el PORTA al control de les files.

6.3.1. Circuit de control del panell de visualització matricial.

Pel funcionament de la matriu s'ha dissenyat el circuit de la Fig. 6.13.

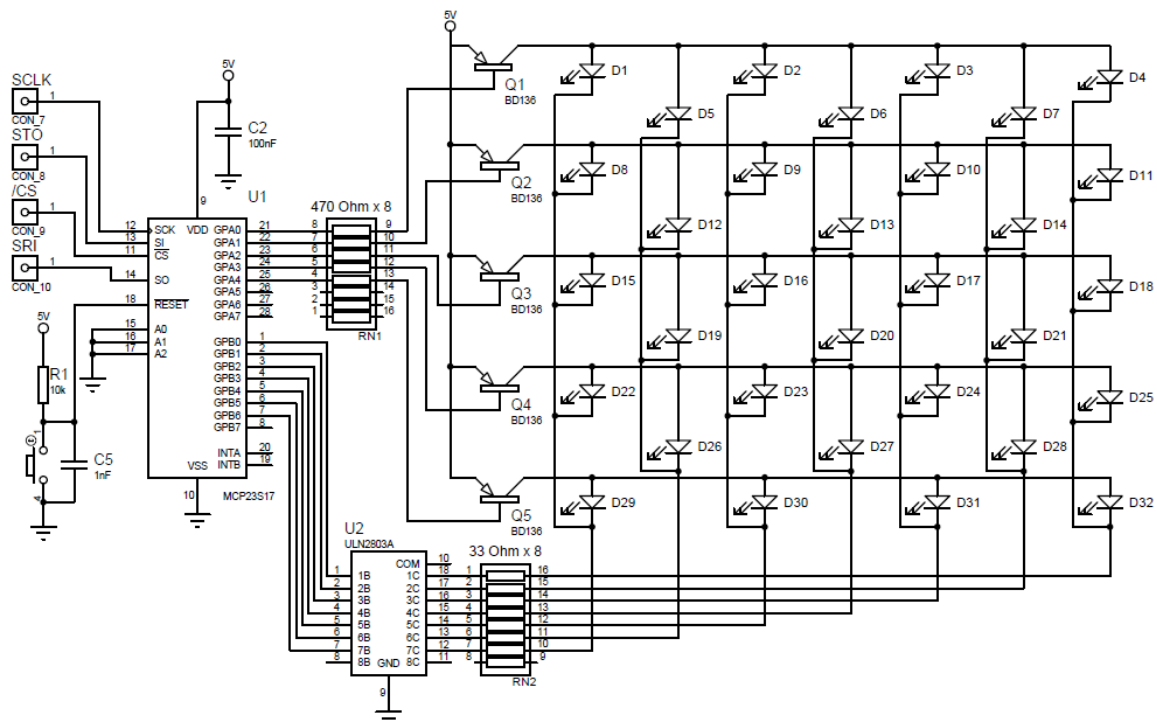


Fig. 6.13. Circuit de control del panell de visualització matricial.

Per la selecció dels components que formen el circuit de control de la matriu, s'ha tingut en compte dos factors importants:

1. La matriu funcionarà per la multiplexació de les files.
2. El corrent màxim que pot proporcionar o acceptar cada pin dels ports A i B del MCP23S17 és de 25 mA, observar la Fig. 6.14.

Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias.....	-40°C to +125°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on VDD with respect to VSS	-0.3V to +5.5V
Voltage on all other pins with respect to VSS (except VDD).....	-0.6V to (VDD + 0.6V)
Total power dissipation (Note)	700 mW
Maximum current out of VSS pin	150 mA
Maximum current into VDD pin	125 mA
Input clamp current, I _{IK} (V _I < 0 or V _I > VDD).....	±20 mA
Output clamp current, I _{OK} (V _O < 0 or V _O > VDD)	±20 mA
Maximum output current sunk by any output pin	25 mA
Maximum output current sourced by any output pin	25 mA

Fig. 6.14. Característiques elèctriques (Valors màxims).

Per calcular la resistència que limitarà el corrent que circularà per cada LED, s’ha de tenir present que la matriu funcionarà per la multiplexació de les files, és a dir, que els LEDs de cada fila seran alimentats un “x” temps dintre d’un període i no de forma permanentment. Per tant, primer de tot, s’ha de saber amb quin cicle de treball (duty cycle) funcionaran els LEDs.

El cicle de treball és el percentatge d’un període en que el senyal està activat (nivell alt), observar la Fig. 6.15 i l’equació (6.14).

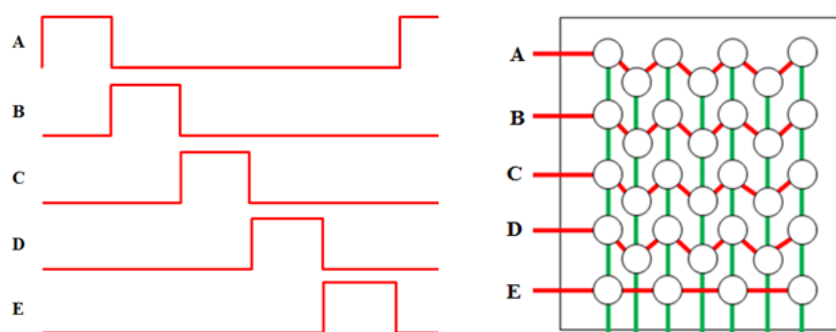


Fig. 6.15. Multiplexació de les files de la matriu de LEDs.

$$D = \frac{\tau}{T} \cdot 100\% \quad (6.14)$$

D = Cicle de treball.

τ = Temps en que el senyal està actiu.

T = Període total del senyal.

En aquest cas, per trobar el cicle de treball no es necessari saber el temps que durarà el pols, ja que els pols d'activació de cada fila tindran el mateix temps de durada. Per tant, si el cicle de multiplexació està format per un total de 5 polsos i cada fila només rebrà 1 pols en cada període, es pot deduir fàcilment que el cicle de treball de cada fila, i per tant també de cada LED, serà del 20%, observar l'equació (6.15).

$$D = \frac{1 \text{ pols d'activació}}{5 \text{ pols d'activació cada cicle}} \cdot 100\% = 20\% \quad (6.15)$$

Una vegada ja obtingut el cicle de treball, es fixa com a intensitat mitjana dels LEDs, la que correspon a I_{vrel} al punt de màxima resposta espectral del LED, que segons les gràfiques proporcionades pel fabricant de la Fig. 6.16., és de 10 mA.

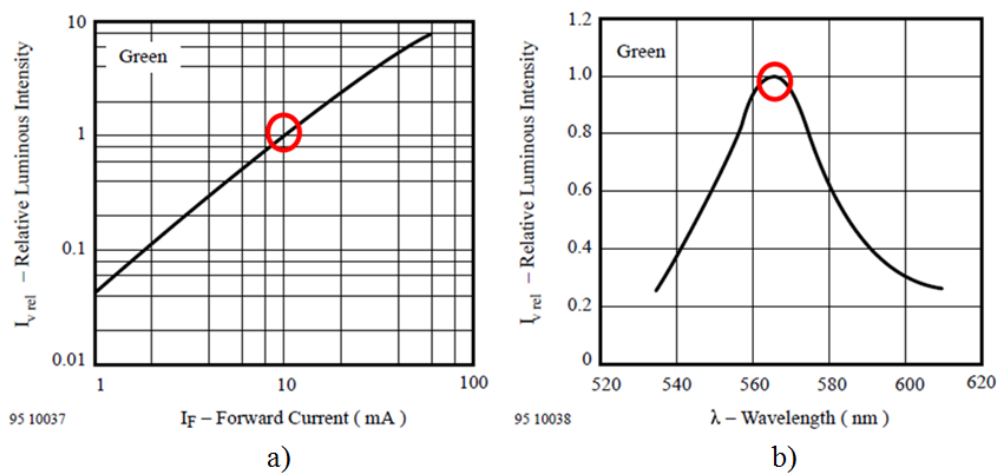


Fig. 6.16. **a)** I_{Lrel} vs corrent directe **b)** I_{Lrel} vs longitud d'ona.

Com que els LEDs treballaran amb un cicle de treball del 20%, la intensitat que realment es necessitarà per aconseguir els 10 mA de mitja, serà de 50mA, observar l'equació (6.16).

$$I_{màx_{LED}} = I_{av_{LED}} \cdot \frac{1}{D} = 10 \text{ mA} \cdot \frac{1}{0,2} = 50 \text{ mA} \quad (6.16)$$

Una vegada ja obtingut aquest valor, es comprova si el MCP23S17 seria capaç de d'alimentar tots els LEDs d'una fila, observar l'equació (6.17).

$$I_{m\grave{a}x_{FILA}} = I_{m\grave{a}x_{LED}} \cdot n_{LEDs} = 50 \cdot 7 = 350 \text{ mA} \quad (6.17)$$

Com que la intensitat màxima que pot proporcionar el MCP23S17 per cada pin d'E/S és de 25 mA, serà necessari amplificar aquest corrent. Per aquesta raó, s'utilitza un transistor que farà de driver entre el PORTA i les files de la matriu. Donat que s'ha de commutar a la línia de positiu, s'utilitza un transistor PNP, el qual serà el mateix que s'ha utilitzat pel circuit de control del tàctil.

El valor de la resistència de base que s'utilitza per aquests transistors, surt de l'equació (6.18), la qual fa referència al circuit simplificat de la Fig. 6.17, que correspon al circuit simplificat del control d'una fila de la matriu. Com que la intensitat màxima que pot circular per una fila de la matriu és de 350 mA, s'ha utilitzat aquest valor per assegurar que el transistor estarà en saturació quan tots els LEDs de la fila estiguin activats.

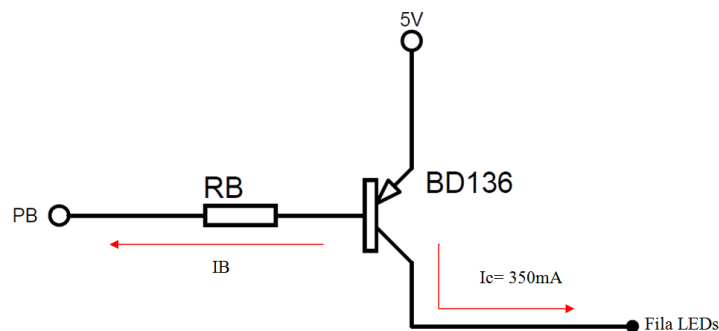


Fig. 6.17. Circuit simplificat del circuit controlador d'una fila de la matriu.

Perquè el transistor estigui en saturació, el pin de l'expansor (PB) ha d'estar en estat lògic baix "0V".

$$5V = V_{EB} + RB \cdot IB \rightarrow RB = \frac{5V - V_{EB}}{\frac{I_C}{\beta}} = \frac{5 - 0,6}{\frac{350mA}{40}} = 502,86 \Omega \quad (6.18)$$

Un cop obtingut el valor màxim de RB, s'escull utilitzar un array de 8 resistències de 470Ω.

Pel que fa el control de les columnes, aquestes estaran controlades pel PORTB. Com que en tot moment només un LED de la columna pot està activat, la intensitat màxima que circularà per aquesta serà de 50 mA. En aquest cas, torna a passar el mateix problema que havia a les files, i per aquesta raó, s'utilitzen transistors NPN pel control de les columnes. Com que hi ha 7 columnes, s'escull un array de transistors NPN que té disponible el Tecnocampus, exactament el circuit integrat ULN2803A format per transistors Darlington.

El ULN2803A consta de 8 parells de transistors NPN Darlington que compten amb sortides d'alt voltatge amb díodes de fixació de càtode comú, el qual s'utilitzaria en casos de commutar càrregues inductives. Cada parell Darlington incorpora una resistència base de $2K7\Omega$ per a l'operació directa amb TTL o dispositius CMOS de 5V. La intensitat màxima de col·lector és de 500 mA, així que no hi haurà cap tipus de problema a l'hora de treballar amb les columnes de la matriu.

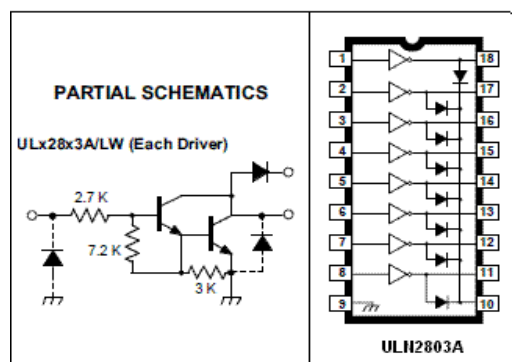


Fig. 6.18. ULN2803A.

Un cop ja determinats tots els components que formaran el circuit de control de la matriu, només falta obtenir el valor de la resistència que regularà el corrent a 10 mA. Per realitzar els càlculs s'utilitza la Fig. 6.19, la qual mostra el circuit simplificat d'un LED activat.

La intensitat que s'utilitzarà pel càlcul és la intensitat de màxima que circularà pel LED, la qual s'ha anomenat I_2 .

Dades

$V_{EC_{Q1}} = 0 \text{ V}$.
 $V_{LED} = 2,4 \text{ V}$.
 $V_{CE_{Q2}} = 0,9 \text{ V}$.
 $I_2 = 50 \text{ mA}$.

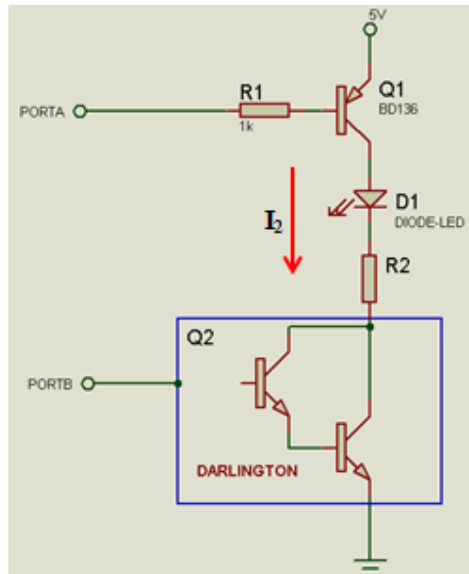


Fig. 6.19. Circuit simplificat de l'activació d'un LED de la matriu.

$$5 = V_{EC_{Q1}} + V_{LED} + V_{CE_{Q2}} + I_2 \cdot R_2 \rightarrow R_2 = \frac{5 - 0 - 2,4 - 0,9}{50 \text{ mA}} = 34\Omega \quad (6.19)$$

Com que hi ha 7 columnes s' utilitzar un array de 8 resistències amb un valor comercial de 33Ω.

7. Disseny i creació de la placa PCB.

Pel disseny d'una PCB, es requereixen dues fases clarament diferenciades mitjançant eines de disseny assistit per ordinador (CAD). A la primera d'elles es dissenyarà l'esquema electrònic i posteriorment, en la segona, s'exportarà aquest esquema a una eina de disseny de PCBs. Perquè això sigui possible, tant l'eina de disseny d'esquemes electrònics com l'eina de disseny de PCBs han de ser compatible. Per aquesta raó, s'ha decidit utilitzar el software de Proteus, el qual conté el ISIS per la creació d'esquemes electrònics i el ARES pel disseny de la placa PCB.

La fabricació de la placa es realitzarà al Tecnocampus, i això fa que s'hagin de complir les especificacions nombrades a la Taula 7.1.

Especificacions per realitzar una PCB al Tecnocampus
Mínim d'ample de pista 0,5 mm
Separació mínima entre pistes o pads 0,2 mm.
Diàmetre mínim de trepant 0,6 mm.
Paret mínima de corona de pad 0,4 mm.
Diàmetre mínim de pad 1,4 mm.
Distància mínima entre pistes i vora de la placa 3 mm.

Taula. 7.1. Especificacions per realitzar una placa PCB al Tecnocampus.

Una vegada es dissenya l'esquema electrònic al ISIS, s'exporta al programa ARES per realitzar la PCB. Pel que fa el disseny de la placa, s'ha hagut de tenir en compte l'àrea visible del tàctil i la superfície que ocuparà el metacrilat. Així doncs, per una banda la distribució dels LEDs ha estat mil·limetrada, per tal de que aquests coincideixin perfectament amb l'àrea visible del tàctil i, per l'altra banda, els connectors es troben situats fora de l'àrea que ocuparà el metacrilat, per permetre la connexió entre el prototip i el MCLS-modular.

Per facilitar el soldatge dels components, s'ha intentat escollir els encapsulats amb més distància entre els pins.

Un cop editades les especificacions imposades pel Tecnocampus, es distribueixen els components sobre la placa i es realitza la connexió. Com que hi ha un alt nombre de pistes, s'aprofita les dues cares de la placa per fer les connexions entre els components. Depenen de la capa en que es trobin aquestes connexions, seran identificades de color blau o de color vermell. Les pistes situades a la cara superior (TOP) són representades en color vermell i les pistes de la cara inferior (BOTTOM) en color blau, tal i com es veu a la Fig. 7.1.

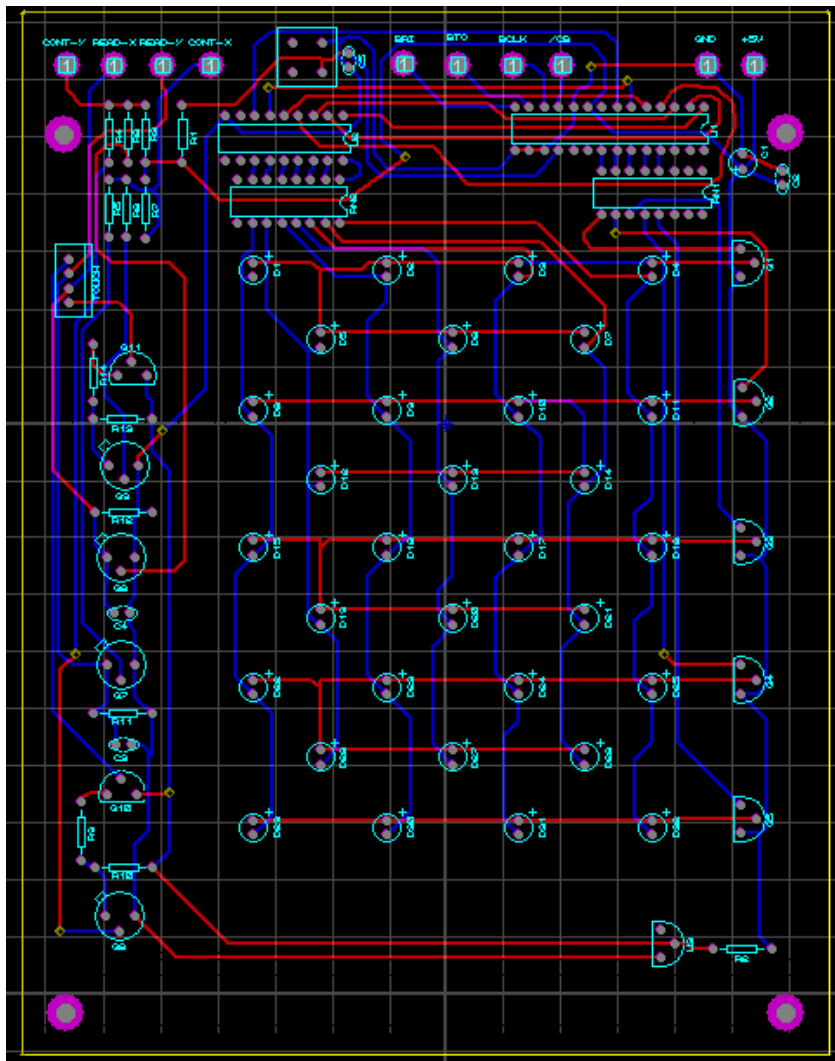


Fig. 7.1. Disseny de la PCB del prototip.

Per minimitzar els possibles sorolls, es desitjava crear plànols de massa a les dues cares. Això permetria que els camins de retorn fossin ho més directes possibles, produint-se el retorn pel camí de menys impedància. A causa d'alguns problemes amb el software que s'encarregava de la fabricació de la placa no es va poder crear el plànol de massa. En

principi no hi hauria d'haver cap problema en el funcionament de la placa, ja que la utilització d'aquest plànol serveix per tenir més seguretat a no tenir problemes de soroll.

Finalment, la superfície total que ocuparà la placa serà de 182,5 x 141 mm.

Dissenyada la PCB, és necessari extreure arxius en format Gerber. Aquest arxius contenen tota la informació imprescindible per a la fabricació de la PCB; per exemple, diàmetre dels pads, amplada de les pistes, dimensions de la PCB, etc.

Per la fabricació d'aquesta PCB s'han extret les següents capes en format Gerber:

- Top Copper.
- Top Silk.
- Top Resist.
- Bottom Copper.
- Bottom Resist.
- Drill.
- Edge (Aquest apareix a totes les capes).

```
G04 PROTEUS RS274X GERBER FILE*
%FSLAX24Y24*%
%MOIN*%
%ADD10C,0.0270*%
%ADD11C,0.0800*%
%ADD12C,0.0900*%
%ADD13C,0.2100*%
%ADD14C,0.2800*%
%ADD15C,0.0030*%
G54D10*
X+14133Y+11062D02*
X+15500Y+11062D01*
X+15531Y+11031D01*
X+21251Y+11031D01*
X-4133Y+11062D02*
X-5500Y+11062D01*
X-6000Y+10562D01*
X-8740Y+10562D01*
X-8740Y+6259D02*
X+433Y+6259D01*
X+9566Y+6259D01*
X-4133Y+11062D02*
X+5000Y+11062D01*
X-8740Y+10562D02*
```

Fig. 7.2. Part del fitxer Gerber de la capa superior (TOP Copper) de la PCB.

A continuació, es mostra per separat les dues cares de la placa, la cara superior (TOP Copper), Fig. 7.3., i la cara inferior (BOTTOM Copper), Fig. 7.4.

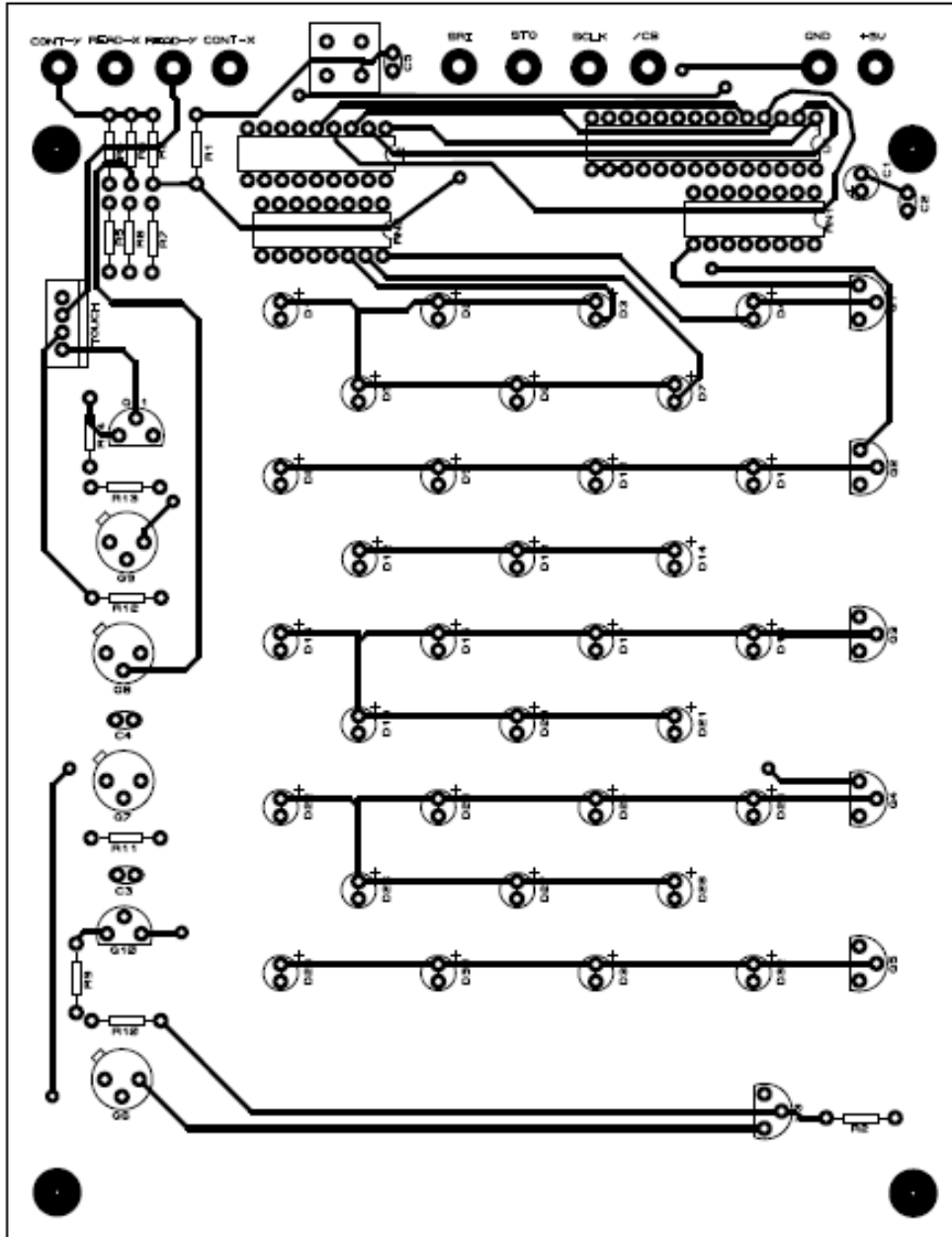


Fig. 7.3.Cara superior de la PCB.

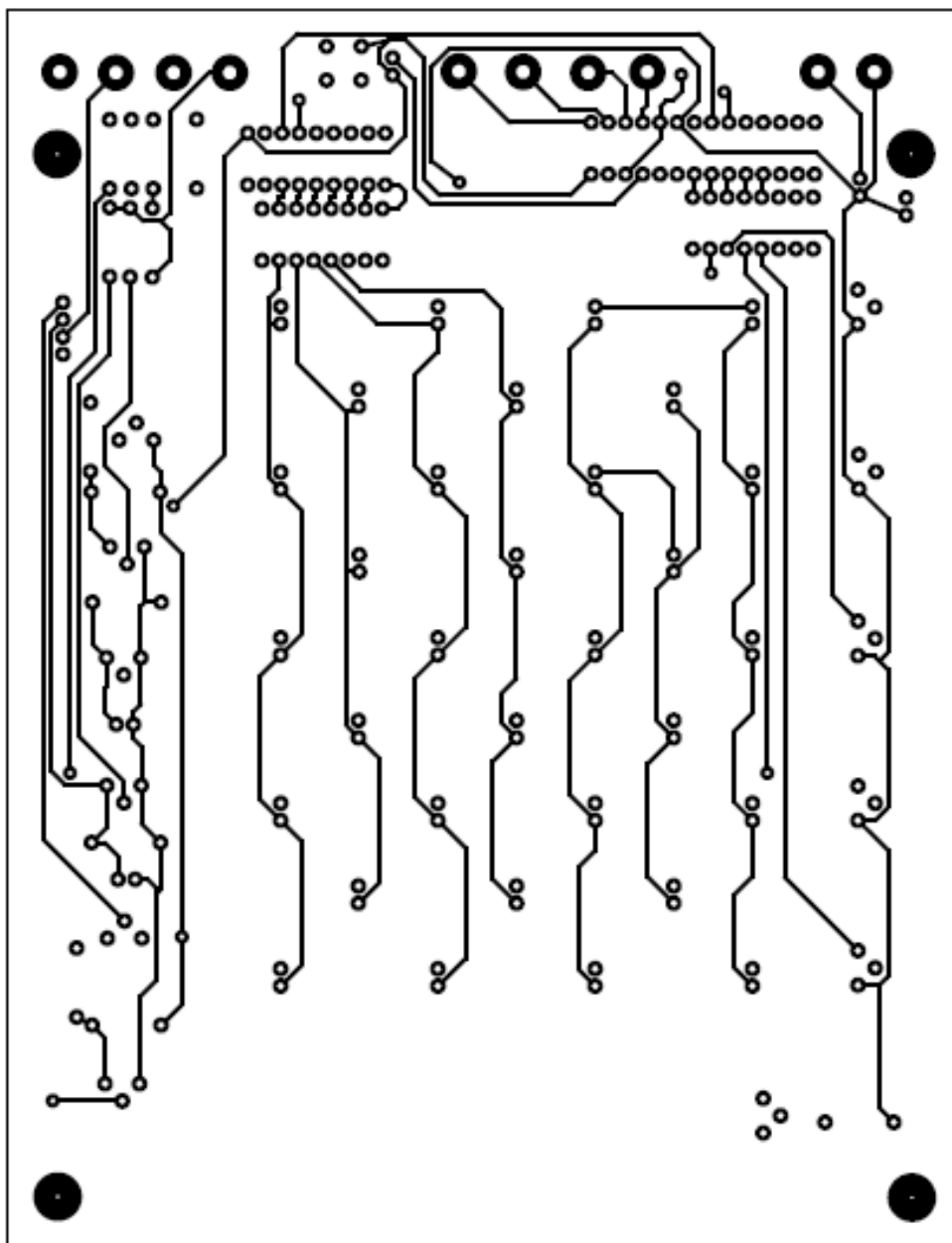


Fig. 7.4. Cara inferior de la PCB (sense efecte mirall).

Per fer-se una idea del resultat final de la PCB, es realitza una visualització en 3D de la placa amb els seus components, tal i com es mostra a la Fig.7.5. i a la Fig. 7.6.

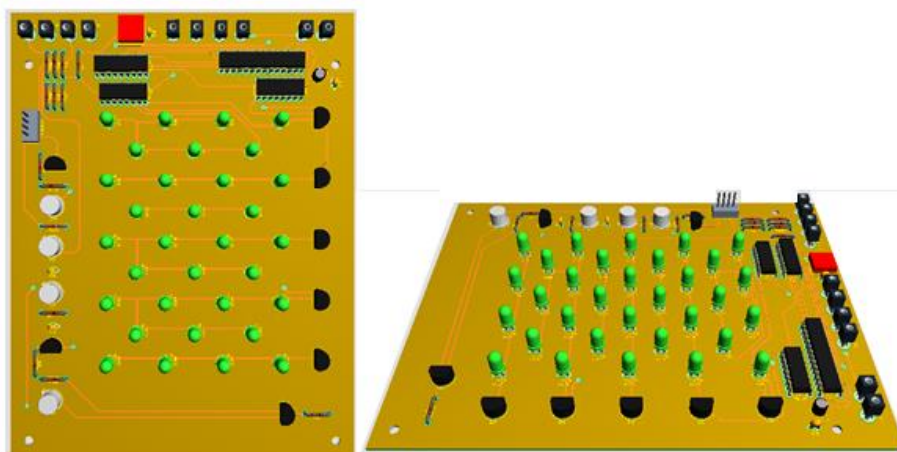


Fig. 7.5. Vista en 3D de la PCB dissenyada.

Finalment, a la Fig. 7.6., es pot observar el resultat final de la PCB.

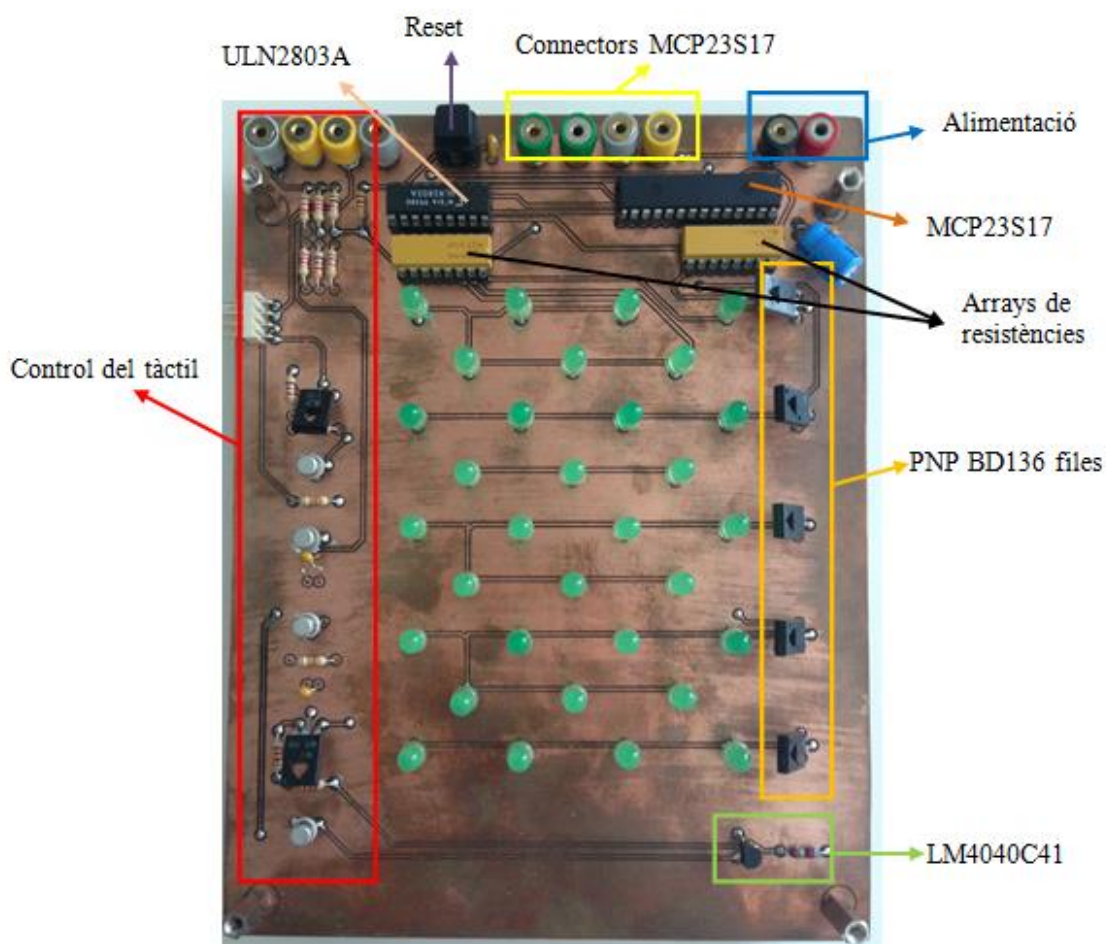


Fig. 7.6. Placa PCB del prototip.

8. Estructura per a la incorporació del teclat.

En aquest capítol es mostrarà l'estructura dissenyada per a la introducció de les plantilles dels diferents tipus de teclats senzills o d'altres geometries d'activació.

La peça de metacrilat que s'utilitzarà per formar l'estructura per introduir les plantilles és pot observar a la Fig.8.1. El gruix del metacrilat serà de 5mm i tan el metacrilat superior, com el metacrilat inferior tindran el mateix disseny.

Per qüestions de comoditat, a la part inferior dels metacrilats s'ha realitzat un semicercle per facilitar l'extracció de la plantilla.



Fig. 8.1. Peça de metacrilat.

Per permetre la introducció de les diferents plantilles, s'ha dissenyat una xapa d'alumini que farà la funció de separador entre els dos metacrilats. L'espai que hi haurà entre aquests serà de 1 mm. D'aquesta manera s'evitarà els moviments no desitjats de la plantilla durant la utilització del panell.

El separador que s'utilitza en el prototip serà diferent al dissenyat pel projecte. Això es degut a la disponibilitat d'eines per fabricar el separador d'alumini. En lloc de ser una sola peça d'alumini, s'utilitzaran tres peces que faran exactament la mateixa funció, tal i com es pot observar a la Fig. 8.2.



Fig. 8.2. Separador d'alumini sobreposat al metacrilat inferior.

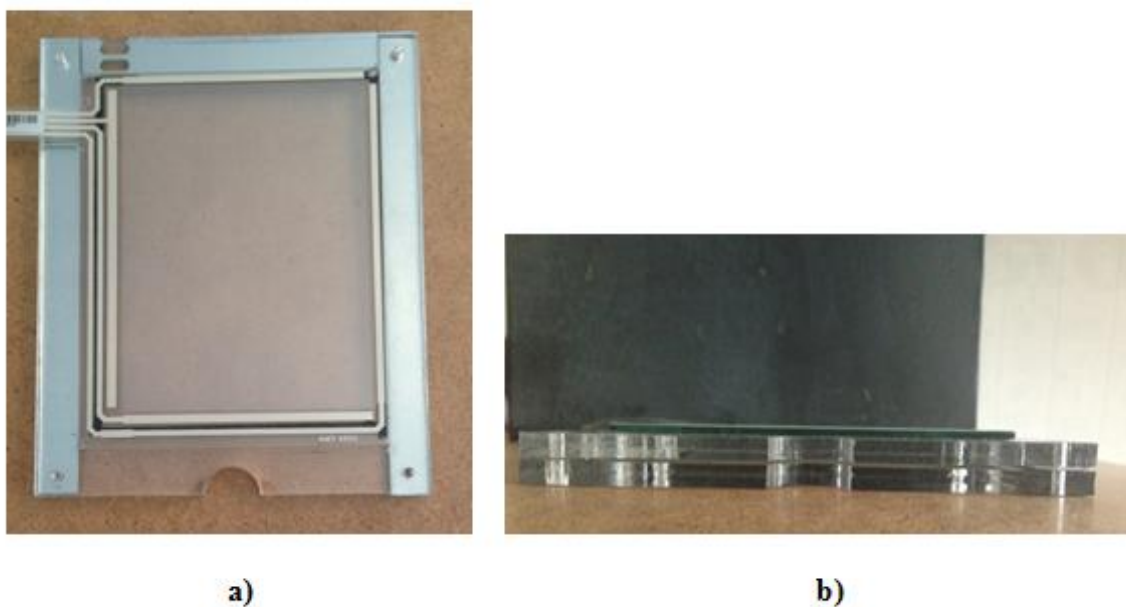


Fig.8.3. Estructura per la incorporació del teclat **a)**Vista superior **b)**Vista frontal.

Els dissenys dels metacrilats i del separador d'alumini amb les seves mesures, es poden trobar al document de plànols mecànics del projecte.

9. Desenvolupament del Software.

Per verificar el funcionament del prototip s'ha desenvolupat un programa per tal de fer funcionar el panell com un teclat numèric de PC, observar la Fig. 9.1. El programa llegirà la coordenada del punt premut sobre la pantalla i la relacionarà amb la tecla corresponent del teclat, per posteriorment, il·luminar-la.

Amb la finalitat d'assegurar que totes les files es mantindran activades el mateix temps durant la multiplexació i mostri una il·luminació uniforme, s'utilitza el sistema d'interrupció, exactament la interrupció del T2 com a base de temps.

Per l'activació de les files i les columnes, cal recordar que les files són controlades per transistors PNP mentre que les columnes són controlades per transistors NPN. Per tant, les files seran activades per "0s" i les columnes per "1s".

El llenguatge que s'ha utilitzat per escriure el programa ha estat l'Assembler, ja que és el llenguatge que s'utilitza a l'assignatura d'informàtica Industrial.

Bloq Num	/	*	-
7	8	9	+
4	5	6	
1	2	3	Intro
0	Supr		

Fig. 9.1. Teclat numèric de PC.

9.1. Descripció de les etiquetes i variables utilitzades en el programa.

En aquest apartat s'explicarà la funcionalitat que té cada etiqueta i variable que s'ha creat pel programa.

9.1.1. Etiquetes de programa.

- **Etiquetes pel MCP23S17**

- **OPCODE_W:** Byte que selecciona el MCP23S17 desitjat (en cas d'utilitzar més d'un) i que també serveix per identificar que s'enviarà posteriorment a aquest byte, serà una direcció corresponent a un registre del MCP23S17
- **IODIRA/B:** Direcció del registre que controla si els bits del PORTA/B actuaran com a entrada o sortida de dades.
- **IOCON:** Direcció del registre que conté diversos bits per la configuració del dispositiu.
- **GPIOA/B:** Direcció del registre on s'envia el valor que es desitja mostrar en el port A/B.
- **OUTPUTS:** S'utilitza per determinar que els ports A i B funcionaran com a sortides.

- **Etiquetes pel teclat tàctil:**

Per identificar quina tecla s'ha premut en el teclat, aquest es dividit en diferents àrees. Cada àrea contindrà una tecla, excepte les tecles "0", "Intro" i "+" ja que són diferents a la resta i ocuparan dues àrees.

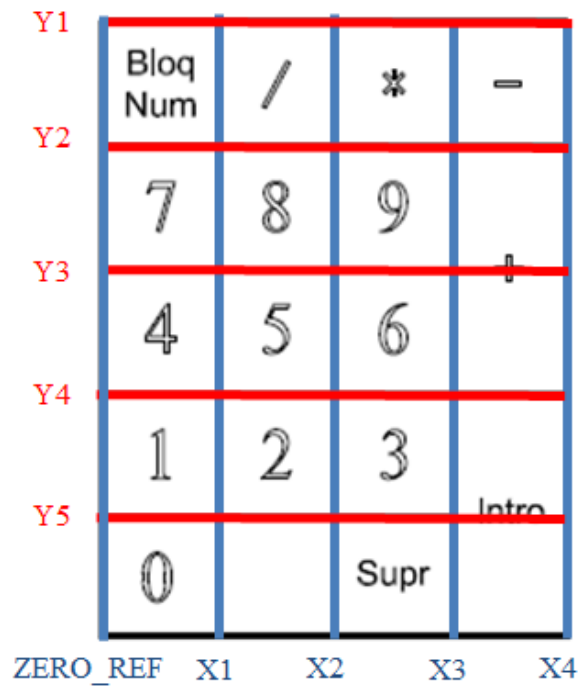


Fig. 9.2. Teclat dividit en diferents àrees.

Per limitar les fronteres, s'han creat les següents etiquetes:

- **Coordenades X**
 - ZERO_REF
 - FRONTERA_X1
 - FRONTERA_X2
 - FRONTERA_X3
 - FRONTERA_X4
- **Coordenada Y**
 - FRONTERA_Y1
 - FRONTERA_Y2
 - FRONTERA_Y3
 - FRONTERA_Y4
 - FRONTERA_Y5

Cada etiqueta tindrà el valor que proporciona el tàctil en aquell punt del teclat. La referència del zero només és necessària en una coordenada, ja que si no detecta pulsació en X tampoc hi haurà en Y.

- **Etiquetes per la matriu de LEDs.**
 - **FILES_OFF:** S'utilitza per apagar totes les files de la matriu.
 - **COLUMNES_OFF:** S'utilitza per apagar totes les columnes de la matriu.
- **Etiqueta pel sistema d'interrupció. (Timer 2).**
 - **TEMPS:** S'utilitza per determinar cada quin temps es produirà la interrupció.

9.1.2. Variables creades pel programa.

- **ADC_CX:** Guarda el valor obtingut a través del ADC de la capa X de la pantalla tàctil
- **ADC_CY:** Guarda el valor obtingut a través del ADC de la capa Y de la pantalla tàctil
- **V_COLUMNES:** S'utilitza per guarda el valor que es reflectirà a les columnes. Per tant, aquests registre serà el que activarà i desactivarà els LEDs de la matriu.
- **COORD_FILES:** Guarda la fila que ha estat premuda en el teclat.
- **N_FILA:** Conté el número de la fila que s'activarà quan s'entri a la subrutina de multiplexació.
- **FILA:** S'utilitza per activar les files de la matriu a la subrutina de la multiplexació.

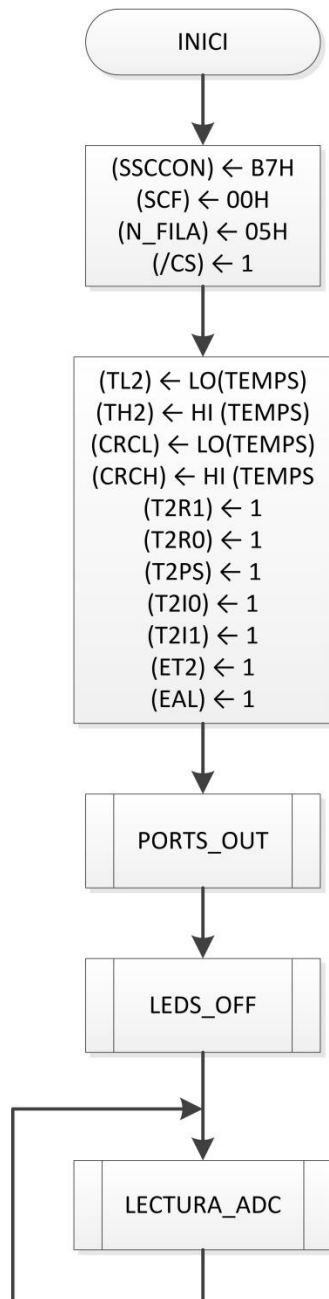
9.2. Diagrames de Flux

9.2.1. Programa principal

En el programa principal s'inicialitzarà: el Bus Spi per la transmissió de dades a l'expansor de ports MCP23S17, la variable N_FILA per començar la multiplexació a la fila 5 de la

matriu i el sistema d'interrupció. També, s'assegurarà que el pin que controla l'habilitació del MCP23S17 es troba en estat alt "1".

Un cop tot inicialitzat, les subrutines que es desenvoluparan en el programa principal són: PORTS_OUT, LEDS_OFF i LECTURA_ADC. Per enviar les dades al MCP23S17, s'utilitza la subrutina BUS_SPI.



S'activa la interfície per a perifèrics en sèrie (bus SPI), es carrega un 5 al registre N_FILA per indicar que la multiplexació començarà per la fila 5 i s'assegura que el bit que habilita/inhabilita el MCP23S17 estarà a nivell alt.

S'inicialitza el temporitzador en mode 2 amb funció d'autocàrrega i s'habilita pel seu funcionament.

Subrutina que programa el MCP23S17 perquè els seus ports (A i B) actuïn com a sortides. També es deixa programat perquè les dades que s'enviïn Al MCP23S17, després de la subrutina, es mostrin als pins de PORTA i PORTB.

Subrutina per assegurar que tots els LEDs de la matriu estan apagats.

Subrutina en que es llegeix de forma continua les coordenades de la pantalla tàctil a través del ADC del microcontrolador.

Fig. 9.1. Diagrama de flux del Programa principal.

- **Subrutina SPI_BUS**

Mitjançant aquesta subrutina s'enviaran les dades al MCP23S17. Quan es vulgui enviar una dada pel bus SPI, simplement s'haurà de posar la dada que es vol transmetre al acumulador i cridar aquesta subrutina.

Per més informació sobre el funcionament de la interfície SPI, veure l'apartat (9.3.1.) del document.

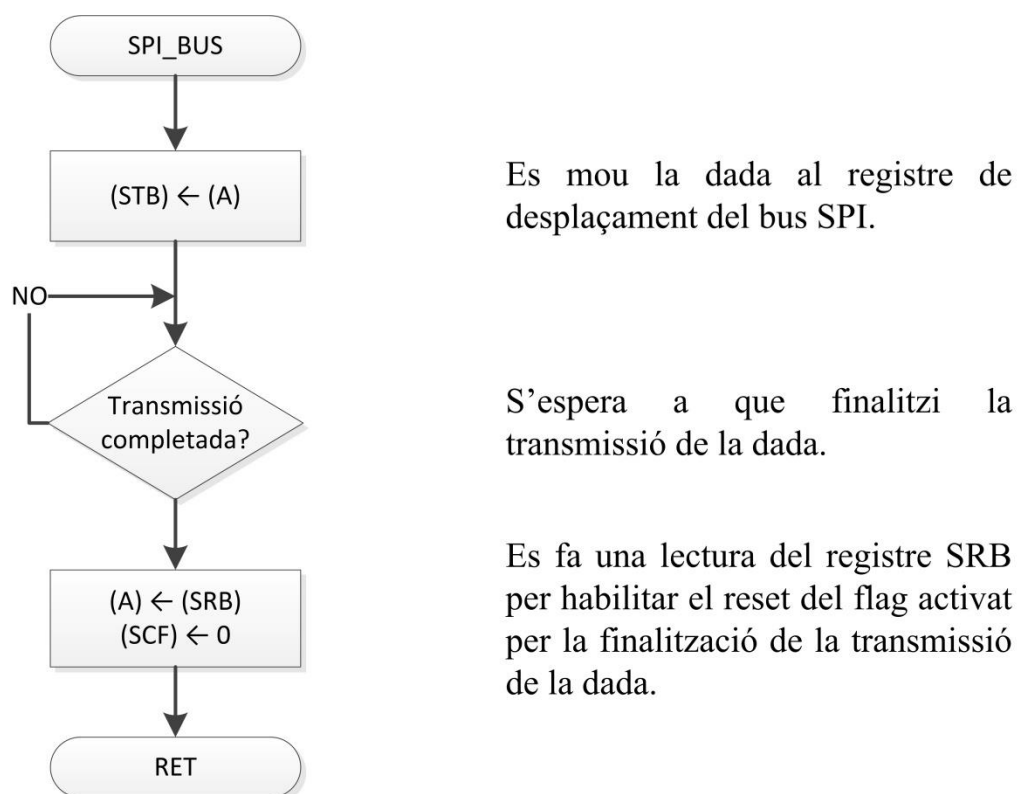


Fig. 9.4. Diagrama de flux de la subrutina SPI_BUS.

- **Subrutina PORTS_OUT**

Aquesta subrutina configurarà el MCP23S17 perquè funcioni amb el mode seqüencial i els ports A i B quedin programats com a sortides.

Per més informació sobre la programació del MCP23S17, veure l'apartat 9.4. del document.

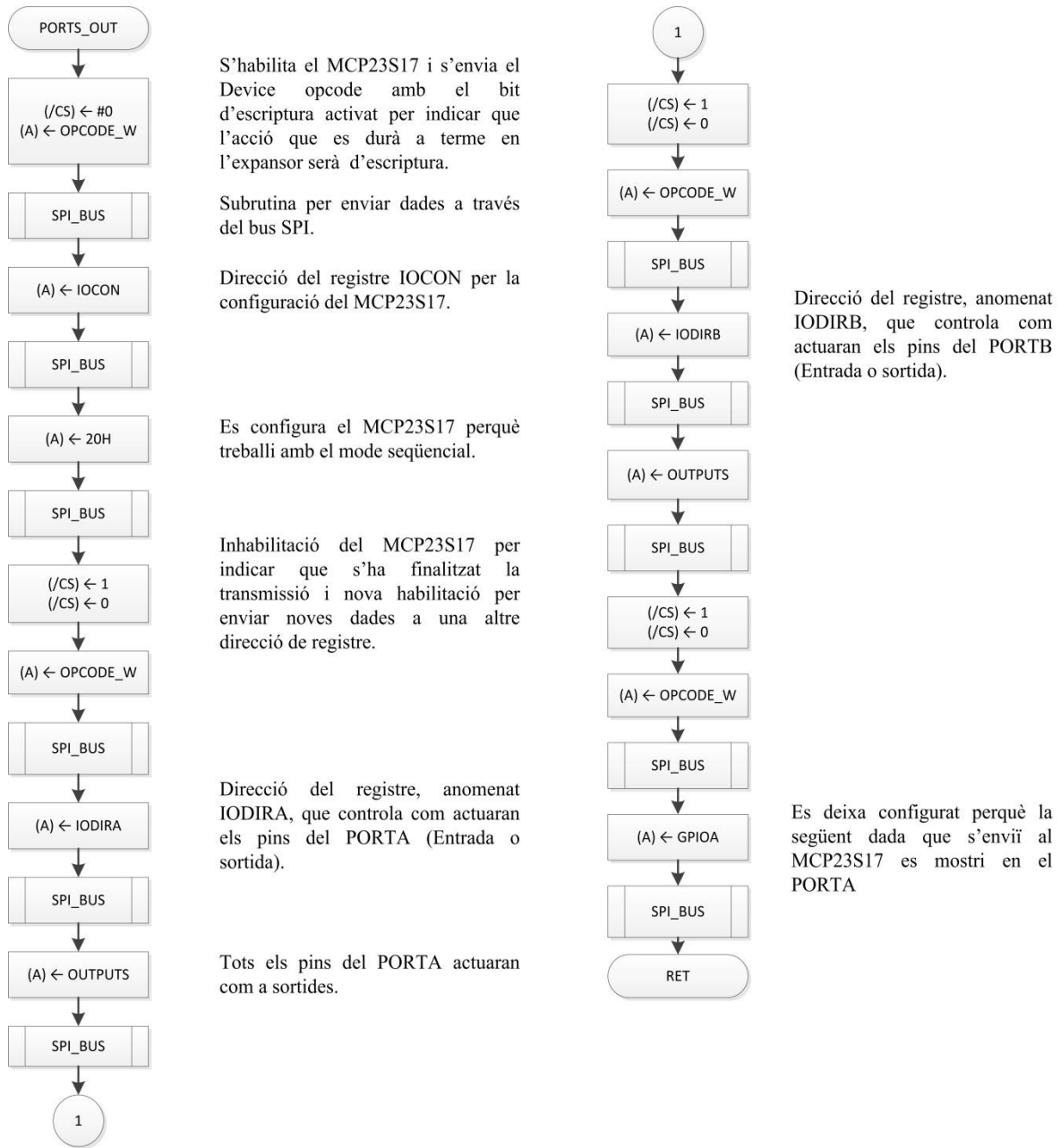


Fig. 9.5. Diagrama de Flux de la subrutina PORTS_OUT.

- Subrutina LEADS_OFF

Assegura que tots els LEDs de la matriu estiguin desactivats quan s'iniciï el programa

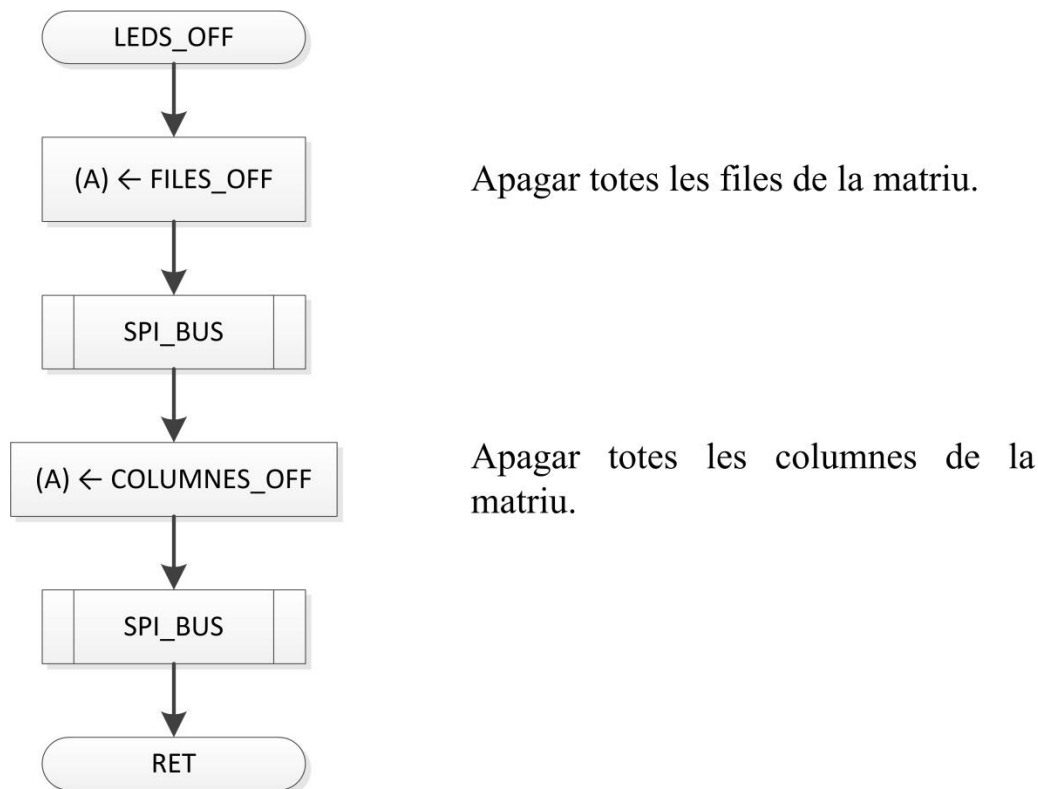


Fig. 9.6. Diagrama de flux de la subrutina LEADS_OFF.

- Subrutina LECTURA_ADC

En aquesta subrutina es durà a terme la lectura de les coordenades de la pantalla tàctil. Primer es llegirà la coordenada X pel P6.1 i després la coordenada Y pel P6.2. Per l'elecció del pin en que es realitzarà la lectura de les coordenades es selecciona a través del registre ADCON0. El bit que indicarà la finalització de la conversió A/D és el BUSY, el qual també es troba localitzat al registre ADCON0. Un cop completada la lectura, la coordenada X serà guardada a la variable ADC_CX, mentre que la coordenada Y es guardarà a la variable ADC_CY.

Per activar i desactivar les dues capes del tàctil (capa X i capa Y) , s'utilitzaran dos pins del port 4. El pin que controlarà la capa X serà el P4.5, mentre que el P4.6 controlarà la capa Y. Les capes del tàctil s'activaran per nivell alt "1", per tant, per fer una bona lectura de la coordenada, sempre hi haurà d'haver un pin a nivell alt i l'altre a nivell baix

Per més informació sobre el funcionament del ADC, anar a l'apartat 9.3.3. del document.

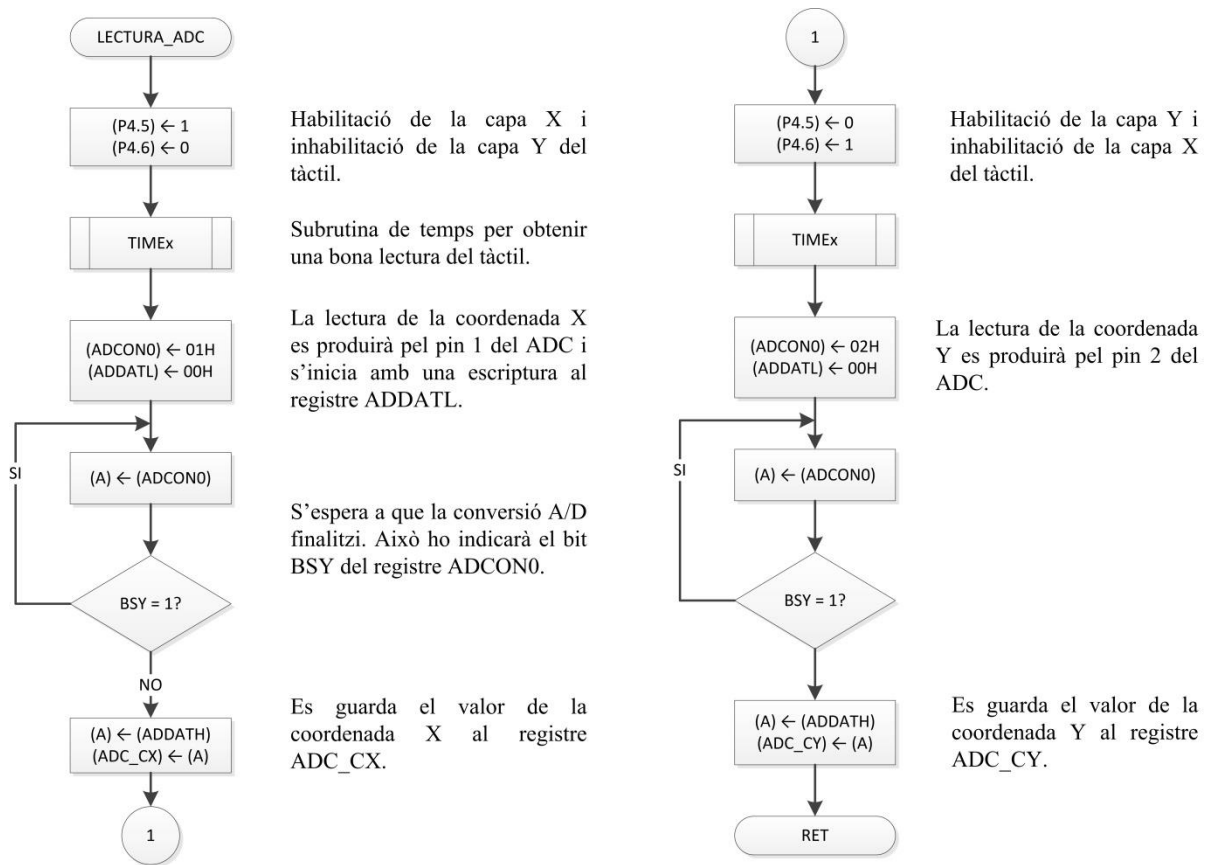


Fig. 9.7. Diagrama de flux de la subrutina LECTURA_ADC.

9.2.2. Servei d'interrupció.

El servei d'interrupció s'activarà cada 2,2 ms. Dintre de la interrupció, es realitzarà el reconeixement de la tecla que s'ha premut en el tàctil i la multiplexació de les files. Cada vegada que el programa entri a la interrupció, s'activarà una fila. Per aquesta raó, s'utilitza una base de temps tan baixa, ja que si el temps fos més elevat es veurien els LEDs parpellejar.

Com s'ha comentat anteriorment, el sistema d'interrupció que s'utilitza del microcontrolador és el TIMER 2 amb autorecàrrega.

Les subrutines que es desenvolupen en el servei d'interrupció s'anomenen: AJUST_COORDENADES, ADAPTACIO i MULTIPLEXACIO.

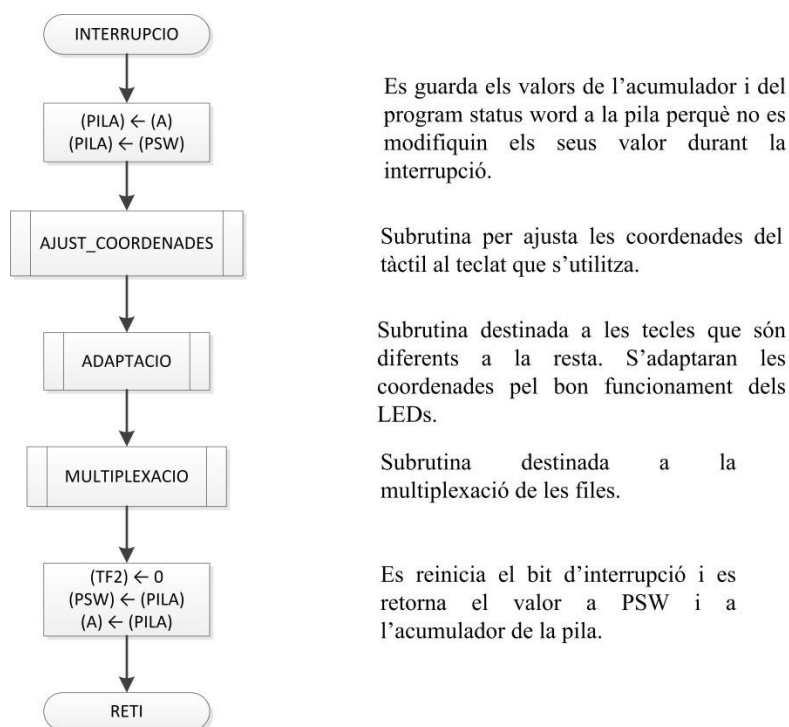


Fig. 9.8. Diagrama de Flux del sistema d'interrupció.

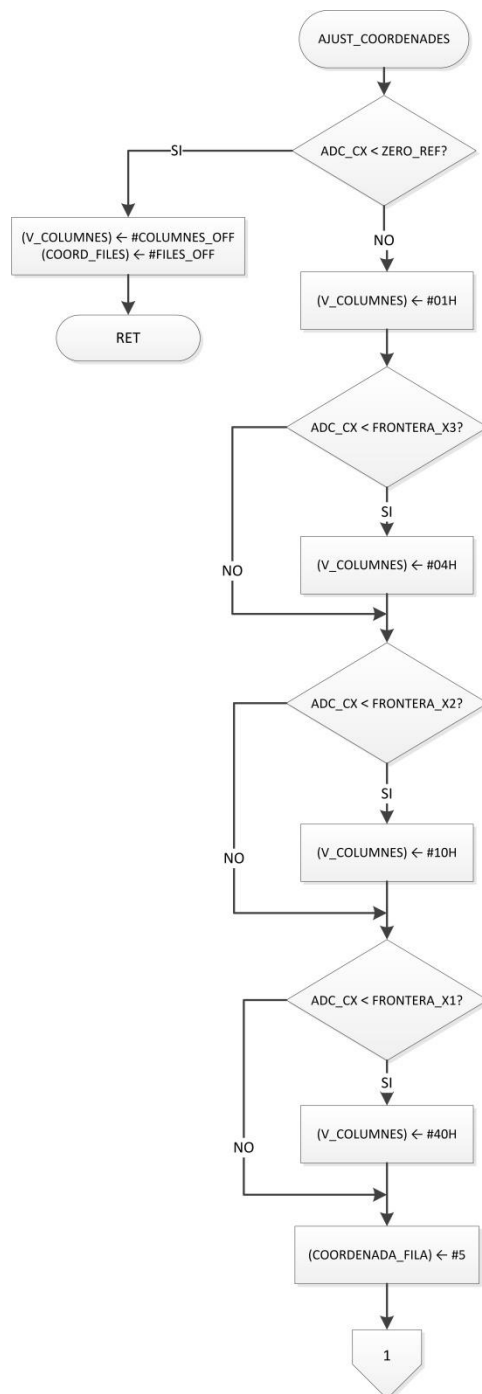
- Subrutina AJUST_COORDENADES

En aquesta subrutina es relacionarà les coordenades obtingudes de la pantalla tàctil a una tecla del teclat. Per fer-ho, com s'ha vist anteriorment, es divideix la pantalla tàctil amb diferents etiquetes que marcaran les fronteres entre les diferents tecles. El procediment que segueix la subrutina, és el següent:

1. S'obté la coordenada X provinent del tàctil i es comprova si hi ha hagut contacte a la pantalla. Si no hi ha hagut contacte, desactiva les columnes i salta al final de la subrutina. Si hi ha contacte es guarda en el registre V_COLUMNES l'activació de la columna número 4 del teclat i es desenvolupa la subrutina..
2. Es comença a comparar la coordenada X obtinguda del tàctil amb la frontera de la superfície X més "gran" del teclat, és a dir, la FRONTERA_X3. Si aquesta és més gran que la coordenada X, el microcontrolador generarà el carry. Això voldria dir que el la coordenada està dintre d'aquesta frontera i per tant, es reemplaçaria el valor del registre V_COLUMNES per passar a activar la columna 3. En canvi, si la FRONTERA_X3 és més petita, el microcontrolador no generarà la senyal de carry i

no es modificarà el valor del registre V_COLUMNNES, mantenint activada la columna 4 del teclat. Aquest procés es repeteix fins la FRONTERA_X1.

- Un cop assignada la coordenada X a una columna del teclat, es repeteix el procediment per la coordenada Y. Un cop identificada la columna i la fila, ja es pot saber quina tecla ha estat premuda per l'usuari.



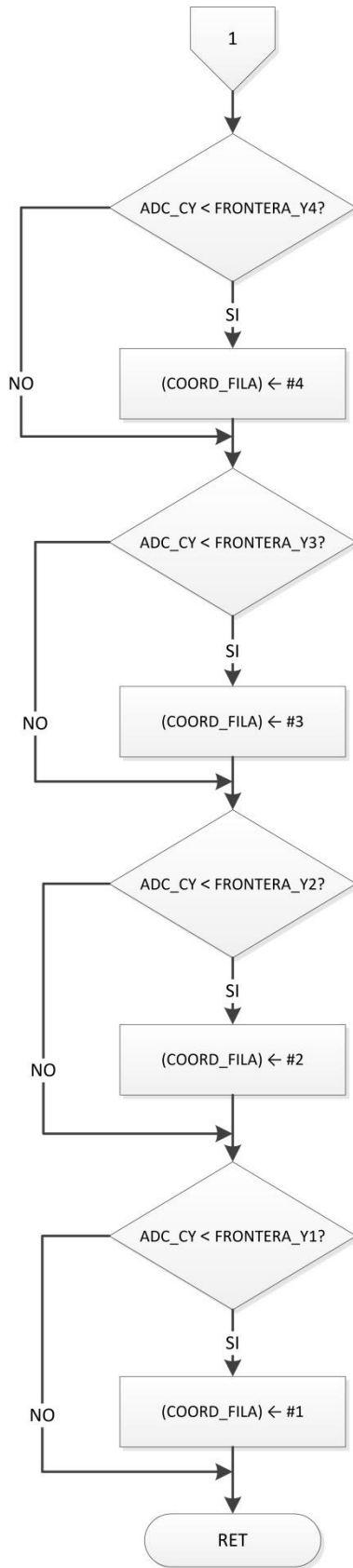
Es comprova si s'ha premut la pantalla. Si no s'ha premut, les columnes queden desactivades. En canvi, si detecta una pulsació passa a comprovar quina tecla ha estat premuda.

Es comença guardant, en el registre que controla les columnes de la matriu, el valor que activa els LEDs de la columna número quatre del teclat.

Es mira si la coordenada llegida pel ADC és inferior a la frontera que hi ha entra la columna 3 i columna 4 del teclat. Si es així es desactiva la columna número 4 i s'activa la columna número 3. Si la coordenada és més gran que la frontera, no es modificarà el registre V_COLUMNNES i continuarà activada la columna 4 del teclat. Es realitza el mateix procediment per cada frontera que hi ha entra les columnes del teclat.

S'inicia indicant que la fila premuda per l'usuari ha estat la número 5.

Fig. 9.9. Diagrama de flux de la subrutina AJUST_COORDENADES (I).



Es segueix el mateix procediment que en les columnes. Es mira si la coordenada llegida pel ADC és inferior a la frontera que hi ha entre la fila 4 i 5 del teclat. Si es així s'actualitza el valor del registre COORD_FILA guardant la fila número 4. Si la coordenada és més gran que la frontera, no es modificarà el registre COORD_FILA i continuarà seleccionada la fila 5 del teclat. Es realitza el mateix procediment per a cada frontera que hi ha entre les files del teclat.

Fig. 9.9. Diagrama de flux de la subrutina AJUST_COORDENADES (II).

- Subrutina ADAPTACIO

Aquesta subrutina està destinada a les tecles que tenen unes dimensions superiors a les altres, exactament les tecles: 0, INTRO i (+). Al tenir una àrea superior, és necessari activar dos LEDs per la il·luminació total de la tecla. Però, per defecte, el programa només activa un LED per cada cicle de multiplexació. Per aquesta motiu, és necessari aplicar aquesta subrutina quan es premi una d'aquestes tecles.

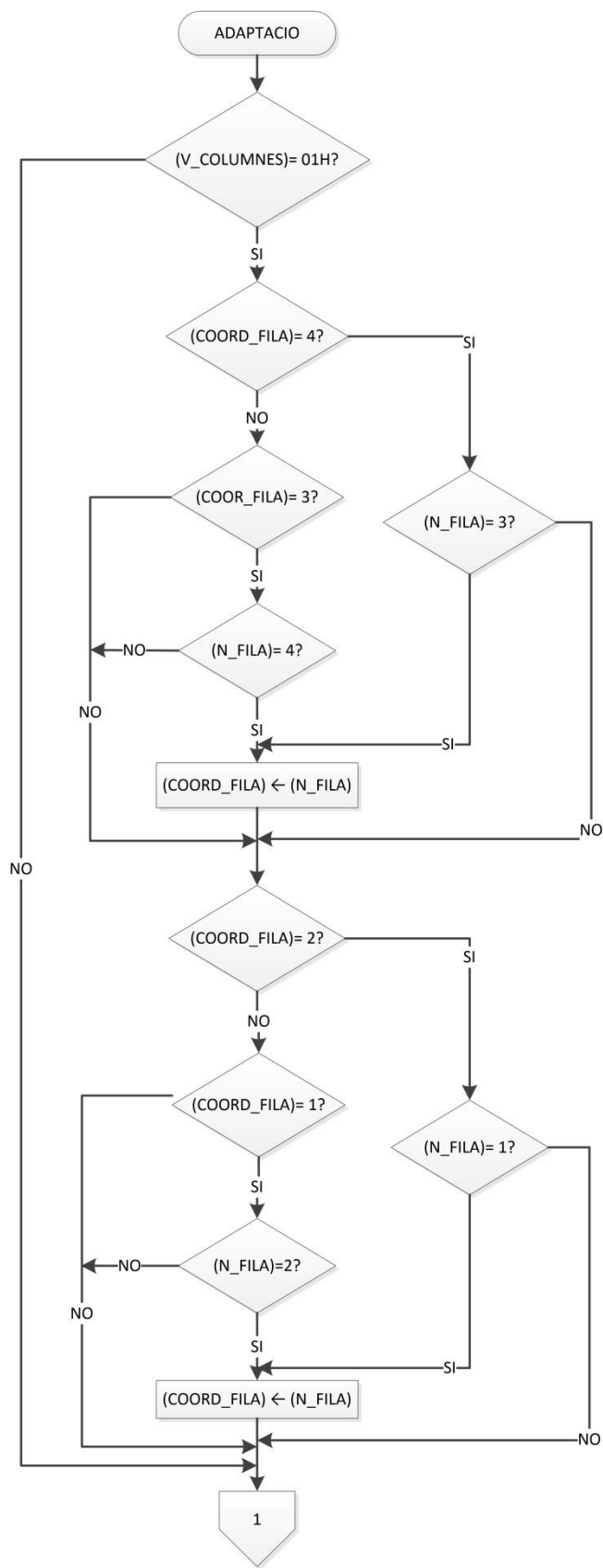
La subrutina està separada en dos parts, una dedicada a les tecles de la columna 4 (“+” i “INTRO”) i l’altre a la fila 1 (“0”).

Per il·luminar les tecles especials situades a la columna 4, s’ha seguit el següent procediment:

1. S’obté el valor de la columna que s’activarà i es compara per saber si correspon a la columna 4.
2. Si la columna que s’activarà serà la número 4, es mira quina fila ha estat premuda per saber si correspon a una de les tecles especials. Si la fila coincideix amb una d’elles, s’haurà d’activar la columna 4 dues vegades a cada cicle de la multiplexació, ja que per defecte només s’activaria una vegada i només s’il·luminaria un LED. Aquest fet s’aconsegueix igualant el número de la fila que s’activarà a la multiplexació (N_FILA) amb el registre que indica quina fila ha estat premuda (COORD_FILA). Per exemple, si s’ha premut la fila 2 (“INTRO”), quan la multiplexació activi la fila 2, el programa funcionarà amb normalitat i no farà cap modificació. Quan toqui activar el LED de la fila 1, però, es mourà el valor de N_FILA a COORD_FILA per enganyar al programa i fer que sembli que s’hagi premut la fila 1 del tàtil, permeten que s’activi també el LED de la fila 1. Per la tecla “+” es segueix el mateix procés però amb les files 3 i 4.

Per il·luminar la tecla “0”, situada a la fila 1, s’ha seguit el següent procediment:

1. Es comprova si la fila premuda ha estat la fila 1.
2. Si ha estat premuda i correspon a la tecla “0”, es modifica el registre encarregat d’activar les columnes (V_COLUMNS) perquè activi els dos LEDs de la tecla.

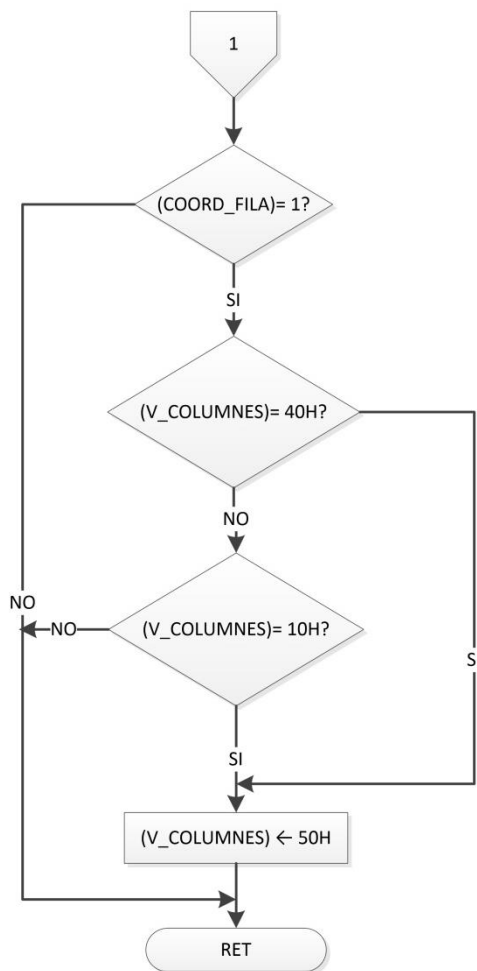


Es comprova si la tecla que s'ha premut correspon a la columna on es troba la tecla (+) i la tecla INTRO.

Si s'ha premut aquesta columna, es comprova si la tecla premuda és la tecla (+). Si és així, s'efectuen els ajustos necessaris per activar els LEDs que il·luminaran la tecla. Perquè això sigui possible, es modifica el valor del registre COORD_FILA guardant el valor de la fila que s'activarà a la multiplexació (N_FILA). D'aquesta manera permetrà activar també el LED de la fila que no hagi estat premuda.

Es repeteix el mateix procediment que en l'anterior però aquesta vegada es comprova si s'ha premut la tecla INTRO.

Fig. 9.10. Diagrama de flux de la subrutina ADAPTACIO (I).



Aquí es comprova si s'ha premut la primera fila del teclat.

Si s'ha premut i correspon a la tecla "0", es realitzen les modificacions necessàries perquè s'activin els LEDs de la matriu que il·luminen la tecla.

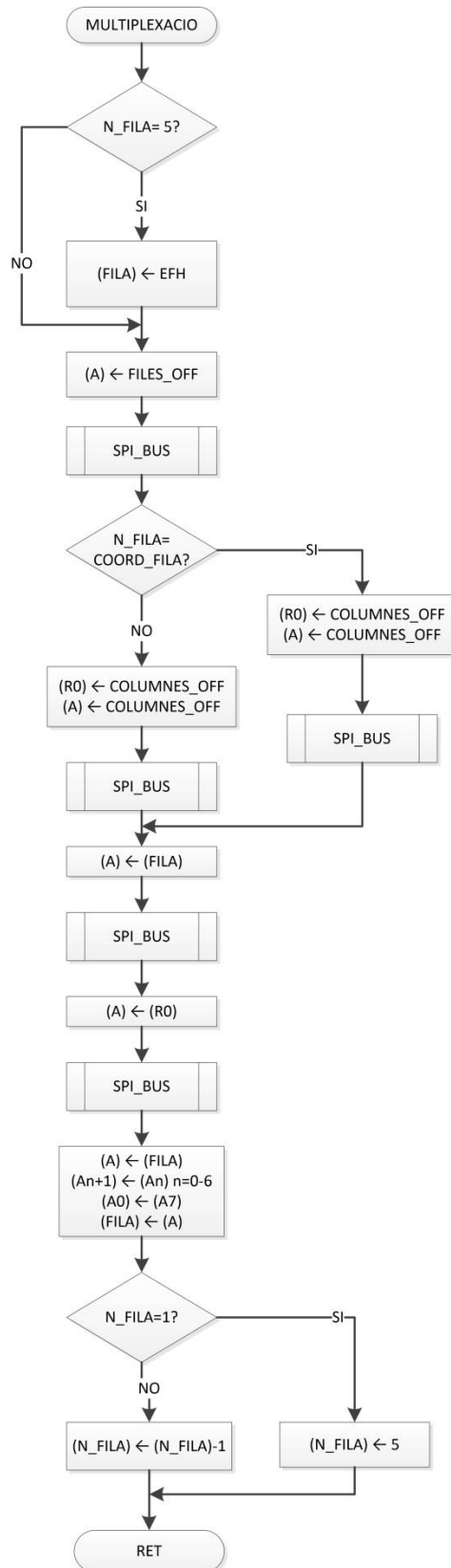
Modifica el valor guardat al registre V_COLUMNNES per activar els LEDs de la tecla "0".

Fig. 9.10. Diagrama de flux de la subrutina ADAPTACIO (II).

- Subrutina MULTIPLEXACIO

Aquesta serà l'encarregada de fer la multiplexació de les files. Cada cop que s'executi la subrutina activarà només una fila. Com les files s'activen per "0s", el registre encarregat d'activar les files (FILA) es carregarà amb el valor de FEH (1111.1110b). Perquè cada vegada que el programa entri a la subrutina s'activi la següent fila, el valor del registre (FILA) rotarà cap a l'esquerra. Quan el comptador de files (N_FILA) arribi a 1, es tornarà a carregar el valor FEH a (FILA) per reiniciar el cicle de la multiplexació.

Les columnes s'activaran (V_COLUMNNES) només quan la fila que toqui activar-se en aquell moment (N_FILA) i la fila premuda al tàctil (COORD_FILA) tinguin el mateix valor. Si no és així, les columnes seran desactivades.



Es comprova si el comptador de files es troba a la fila 5, que en aquest cas és la fila on s'inicia la multiplexació. Si es troba a la fila 5 es reinicia la multiplexació i per tant s'activa la primera fila. (les files s'activen per 0s).

S'inhabiliten les files per activa les columnes corresponents.

Si la fila que s'activarà a la matriu coincideix amb la fila que s'ha polsat en el teclat, s'activaran les columnes per encendre els LEDs que il·luminaran la tecla premuda. Si no coincideixen, no s'activarà cap columna.

S'activa la fila corresponent de la matriu de LEDs per la il·luminació dels Leds activats.

Es torna a enviar el valor de les columnes. Això es necessari ja que treballa amb mode seqüencial. Si no es realitza aquesta acció, els valors de les files s'enviarien al port que controla les columnes (PORTB) quan el programa tornes a entra a la subrutina.

Es rota el "0" que activa les files. Així quan es torni a entrar a la subrutina activarà la següent fila corresponent.

Aquí es guarda el número de la fila que ha estat activada. Si aquesta fila correspon a la última, es reinicia el registre N_FILA posant-lo a la fila 5. Si no es troba a la ultima fila de la multiplexació, llavors es descompte 1 al registre.

Fig. 9.11. Diagrama de flux de la subrutina MULTIPLEXACIO.

9.3. Interfície SPI.

Els registres utilitzat pel funcionament de la matriu són explicats a continuació:

- SSCCON

El registre SSCCON proporciona el control bàsic de les funcions del SSC com activar/desactivar el sistema, modes de selecció i control de l'emissor.

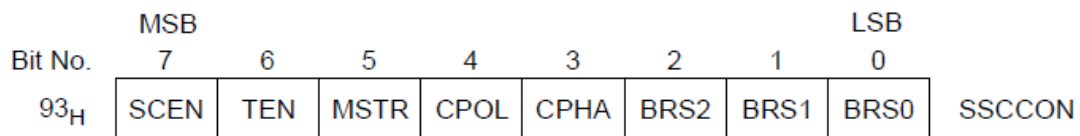


Fig. 9.12. Registre SSCCON.

Bit	Funció
SCEN	<p>És el bit per habilitar el sistema.</p> <p>0 = El sistema està inhabilitat, els pins relacionats amb el SSC actuen com a E/S generals.</p> <p>1= El sistema està habilitat.</p>
TEN	Bit que s'utilitza pel mode esclau
MSTR	<p>Bit que defineix si el C515C actuarà de Master o esclau.</p> <p>0 = Mode esclau seleccionat.</p> <p>1 = Mode Master seleccionat.</p>
CPOL	<p>Polaritat del rellotge</p> <p>0 = SCLK idle en nivell baix</p> <p>1 = SCLK idle en nivell alt,</p>
CPHA	<p>Fase del rellotge</p> <p>0 = El primer flanc de rellotge s'utilitza per mostrejar la dada, el segon flanc per enviar el primer bit pel STO.</p> <p>1= El primer bit de la dada és enviat amb el primer flanc de rellotge i mostreja la dada amb el segon flanc de rellotge.</p>

Taula. 9.1. Funció dels bits del registre SSCCON (II).

Bit	Funció		
BRS0, BRS1, BRS2	Selecciona la velocitat en bauds de la transmissió de les dades.		
	$\text{Baudrate} = f_{\text{OSC}} / \text{Dividefactor} = f_{\text{OSC}} / 2 \times 2^{\text{BRS}(2-0)}$ for BRS (2-0) \neq 0.	BRS(2-0)	
		Divide Factor	
		0	reserved
		1	4
		2	8
		3	16
		4	32
		5	64
	6	128	
	7	256	

Taula. 9.1. Funció dels bits del registre SSCON (II).

- STB i SRB

Aquest registres són els que contindran les dades que s'envien i es llegeixen a través de la interfície SPI. En el registre STB s'enviaran les dades que es volen transferir al MCP23S17, mentre que el SRB serà el registre on es guardarà la dada llegida de l'exterior.

Bit No.	MSB							LSB	
	7	6	5	4	3	2	1	0	
94 _H	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1	.0	STB
95 _H	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1	.0	SRB

Fig. 9.13. Registres STB i SRB.

- SCF

Aquest registre indica quan ha finalitzat la transmissió i si hi ha hagut algun problema de col·lisió d'escriptura.

Bit No.	MSB						LSB		
	7	6	5	4	3	2	1	0	
AB _H	-	-	-	-	-	-	WCOL	TC	SCF

Fig. 9.14. Registre SCF.

Bit	Funció
-	Reservats
WCOL	Informe de que si ha hagut una detecció de col·lisió d'escriptura. Si s'activa WCOL indica que s'ha realitzat un intent d'escriure al registre de desplaçament mentre que una transferència de dades estava en procés.
TC	Indica que la transferència ha sigut completada. Quan TC s'activa significa que la transmissió s'ha completat.

Taula. 9.2. Funció dels bits del registre SCF.

9.4. Convertidor Analògic-Digital.

Els registres del ADC que són utilitzats per l'obtenció de les coordenades del tàctil, s'explicaran a continuació:

- ADCON0 i ADCON1

Bit No.	MSB	7	6	5	4	3	2	1	LSB	0	
D8 _H		BD	CLK	ADEX	BSY	ADM	MX2	MX1		MX0	ADCON0
DC _H		ADCL	-	-	-	-	MX2	MX1		MX0	ADCON1

The shaded bits are not used for A/D converter control.

Fig. 9.15. Registre ADCON0 i ADCON1.

Bit	Funció
ADEX	Aquest bit serveix per indicar si el començament de la conversió vindrà donada per un senyal intern o un senyal extern. 0 = Senyal interna. 1 = Senyal externa.
BSY	Aquest bit indica si la conversió esta en curs (BSY=1). El bit s'esborra per hardware quan la conversió ha finalitzat.

Taula. 9.3. Funció dels bits dels registres ADCON0 i ADCON1(I).

Bit	Funció																																				
ADM	<p>Indica el mode de conversió que s'utilitzarà.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Conversió única (ADM = 0)</u>: Només realitza una conversió. No s'efectuarà un altre fins que no ho indiqui l'usuari • <u>Conversió continua (ADM = 1)</u>: Després de la realització d'una conversió A/D, comença una altre. La conversió s'activa automàticament fins que es faci un reset al bit ADM. 																																				
MX2-MX0	<p>S'utilitzen per escollir l'entrada que realitzarà la lectura. Aquets poden ser escrits tan en el registre ADCON0 com en el registre ADCON1. Quan s'escriu en un aquest també es modifica en l'altre.</p> <p>Les entrades analògiques es seleccionen seguin la següent taula:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>MX2</th> <th>MX1</th> <th>MX0</th> <th>Selected Analog Input</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>P6.0 / AIN0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>P6.1 / AIN1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>P6.2 / AIN2</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>P6.3 / AIN3</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>P6.2 / AIN4</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>P6.3 / AIN5</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>P6.4 / AIN6</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>P6.5 / AIN7</td></tr> </tbody> </table>	MX2	MX1	MX0	Selected Analog Input	0	0	0	P6.0 / AIN0	0	0	1	P6.1 / AIN1	0	1	0	P6.2 / AIN2	0	1	1	P6.3 / AIN3	1	0	0	P6.2 / AIN4	1	0	1	P6.3 / AIN5	1	1	0	P6.4 / AIN6	1	1	1	P6.5 / AIN7
MX2	MX1	MX0	Selected Analog Input																																		
0	0	0	P6.0 / AIN0																																		
0	0	1	P6.1 / AIN1																																		
0	1	0	P6.2 / AIN2																																		
0	1	1	P6.3 / AIN3																																		
1	0	0	P6.2 / AIN4																																		
1	0	1	P6.3 / AIN5																																		
1	1	0	P6.4 / AIN6																																		
1	1	1	P6.5 / AIN7																																		
ADCL	<p>Serveix per indicar la freqüència de rellotge del ADC</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>ADCL</th> <th>f_{ADC} Prescaler Ratio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>divide by 4 (default after reset)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>divide by 8</td> </tr> </tbody> </table>	ADCL	f_{ADC} Prescaler Ratio	0	divide by 4 (default after reset)	1	divide by 8																														
ADCL	f_{ADC} Prescaler Ratio																																				
0	divide by 4 (default after reset)																																				
1	divide by 8																																				

Taula. 9.3. Funció dels bits dels registres ADCON0 i ADCON1(II).

Per generar la senyal que indica el començament d'una conversió, es pot realitza de dues maneres: internament o externament. Com es pot observar a la taula anterior, el bit que indicarà si la senyal provindrà de l'interior o de l'exterior serà el bit ADEX.

Si es desitja que el començament de la conversió vingui donada des de l'interior, aquesta es donarà quan es realitzi una escriptura (no importa el contingut) a la instrucció ADDATL.

Per altre banda, si s'escull que el començament de la conversió vingui donada des de l'exterior, aquesta iniciarà la lectura quan el $\overline{P4.0/ADST}$ llegeixi un nivell baix "0". Quan

es desitja una conversió continua, aquesta finalitzarà quan llegeixi en el $P4.0/\overline{ADST}$ un nivell alt "1".

- IEN1 i IRCON

Per saber quan finalitza una conversió, es pot fer de dues maneres, fent una lectura del bit BSY del registre ADCON0 o a través d'un senyal d'interrupció. Aquest senyal d'interrupció ve donat pel bit IADC del registre IRCON, tal i com es veu a la Fig. 9.16.

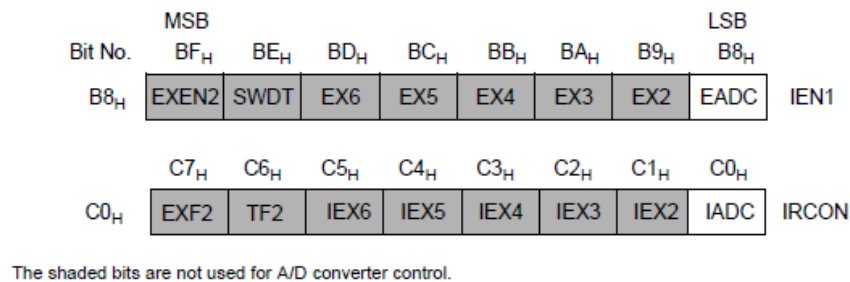


Fig. 9.16. Registres IEN1 i IRCON.

Bit	Funció
EADC	Habilita la interrupció 0 = Inhabilitada 1 = habilitada
IADC	És el bit d'interrupció. Aquest bit ha de ser posat a 0 per software.

Taula. 9.4. Funció dels bits dels Registres IEN1 i IRCON.

- ADDATH i ADDATL

Finalment, els registres ADDATH i ADDATL són els que guardaran la conversió A/D de 10 bits. Aquesta lectura es mantindrà guardada en els registres fins la següent conversió.

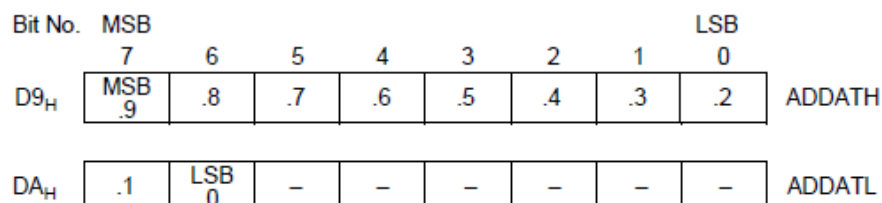


Fig. 9.17. Registres ADDATH i ADDATL.

9.5. MCP23S17.

A continuació s'explicaran els registres que són utilitzat pel funcionament de la matriu:

1. Registre **IOCON**.
2. Registre **IODIR-I/O**.
3. Registre **GPIO**.

1. Registre **IOCON**.

Aquest registre conté diversos bits per a la configuració del dispositiu, com es pot observar a la Fig. 9.18. La funció de cada bit es troba explicada a la taula (9.6).

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0
BANK	MIRROR	SEQOP	DISSLW	HAEN	ODR	INTPOL	—
bit 7							bit 0

Fig. 9.18. Registre IOCON.

Bit	Funció
BANK	<p>Controla la manera en que els registres són adreçats.</p> <p>1= Els registres associats a cada port estan separats en bancs diferents. Els Registres associats amb el PORTA es troben entre les adreces 00H-0AH i els registres associats al PORTB estan localitzat entre 10H-1AH.</p> <p>0= Els registres A/B estan aparellats (les adreces son seqüencials). Les adreces dels diferents registres van de la posició 00H a la posició 15H.</p>
MIRROR	<p>Controla la manera en que els pins de INTA i INTB funcionen respecta l'altre.</p> <p>1= Els pins INT estan internament connectats.</p> <p>0= Els pins INT no estan connectats. INTA està associat amb PORTA i INTB està associat amb PORTB.</p>
SEQOP	<p>Controla com funcionarà el punter d'adreçament.</p> <p>1= Mode seqüencial inhabilitat, punter d'adreçament no incrementa.</p> <p>0= Mode seqüencial habilitat,, punter d'adreçament incrementa.</p>

Taula. 9.5. Funció dels bits del Registre IOCON (I).

Bit	Funció
DISSLW	Bit de control del Slew Rate per sortida SDA. 1= Slew Rate inhabilitat. 0= Slew Rate habilitat.
HAEN	Bit d'habilitació per l'adreça hardware. 1= Habilitat 0= Inhabilitat
ODR	Aquest bit configura la INT com una sortida de open-drain 1= Sortida open-drain(ignorar el bit INTPOL). 0= Activar la sortida del driver (INTPOL estableix la polaritat).
INTPOL	Aquest bit estableix la polaritat del pin d'interrupció de sortida. 1= Activat nivell alt 0=Activat nivell baix.

Taula. 9.5. Funció dels bits del Registre IOCON (II).

2. Registre **IODIR-I/O**.

Aquest registre controla si els bits del PORTA/B actuaran com a entrada o sortida de dades. Cada bit de cada port actua individualment, és a dir, que cada port pot ser configurat al gust del usuari. A continuació es mostra com actuarà cada bit depenen del valor que s'envii al registre:

1 = Els pins són configurats com a entrades.

0 = Els pins són configurats com a sortides.

R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
IO7	IO6	IO5	IO4	IO3	IO2	IO1	IO0
bit 7							bit 0

Fig. 9.19. Registre IODIR-I\O.

3. Registre **GPIO**.

Aquest registre contindrà la dada que es mostrara en el PORTA/B o, en el cas de lectura, la dada que s'ha llegit del corresponent port. Per tant, aquest serà el registre que s'haurà d'introduir els valors adequats pel funcionament de la matriu.

1 = Nivell alt.

0 = Nivell baix.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
GP7	GP6	GP5	GP4	GP3	GP2	GP1	GP0
bit 7							bit 0

Fig. 9.20. Registre GPIO.

- Adreçament dels registres

L'expansor conté 22 registres (11 registres parells) que poden ser adreçats a través del bus SPI. La distribució que seguiran els registres, com s'ha comentat anteriorment, dependrà del bit IOCON.BANK. Si es treballa amb IOCON.BANK=1, els registres seguiran la distribució anomenada “mode 8 bits”, mentre que si es treballa amb IOCON.BANK=0, els registres seguiran la distribució anomenada “mode 16 bits”, observar la Fig. 9.21.

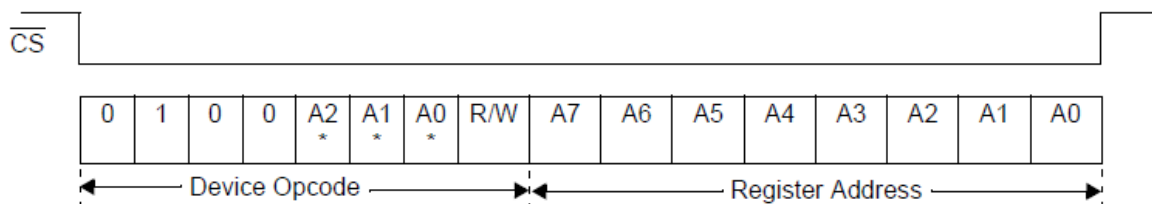
8-bit Mode		16-bit Mode	
Register Name	Address (hex)	Register Name	Address (hex)
IODIRA	00	IODIRA	00
IPOLA	01	IODIRB	01
GPINTENA	02	IPOLA	02
DEFVALA	03	IPOLB	03
INTCONA	04	GPINTENA	04
IOCON	05	GPINTENB	05
GPPUA	06	DEFVALA	06
INTFA	07	DEFVALB	07
INTCAPA	08	INTCONA	08
GPIOA	09	INTCONB	09
OLATA	0A	IOCON	0A
IODIRB	10	IOCON	0B
IPOLB	11	GPPUA	0C
GPINTENB	12	GPPUB	0D
DEFVALB	13	INTFA	0E
INTCONB	14	INTFB	0F
IOCON	15	INTCAPA	10
GPPUA	16	INTCAPB	11
INTFB	17	GPIOA	12
INTCAPB	18	GPIOB	13
GPIOB	19	OLATA	14
OLATB	1A	OLATB	15

Fig. 9.21. Adreces dels registres del MCP23S17.

Per adreçar-se a aquests registres, s'ha de complir un protocol, explicat a continuació i que es pot veure a la Fig.9.22.

1. Habilitar el MCP23S17 (/CS).
2. Enviar el **DEVICE OPCODE**.
3. Enviar la direcció del registre desitjat.

El **DEVICE OPCODE** serveix per dirigir-nos al expansor desitjat (en cas d'utilitzar més d'un) i d'identificar que el que s'enviarà posteriorment a aquest byte, serà una direcció corresponent a un registre del MCP23S17. Aquest, està format per 4 bits fixes, tres bits definits per hardware (si està habilitat a través de IOCON.HAEN) (pins A2, A1 i A0) i 1 bit per si l'acció serà de lectura o d'escriptura (R/ \bar{W}).



* Address pins are enabled/disabled via IOCON.HAEN.

Fig. 9.22. Byte per l'adreçament de registres.

Si el bit HAEN està habilitat (HAEN=1), l'adreça per hardware haurà de coincidir amb els valors A2, A1 i A0 del DEVICE OPCODE. Mentre que si el bit HAEN està inhabilitat (HAEN=0), A2, A1 i A0 seran 0..

Un cop vist el protocol que s'ha de seguir per adreçar-se als registres, s'ha de tenir en compte que el MCP23S17 pot actuar en dos modes diferents. Aquests dos modes s'anomenen mode Seqüencial i Mode byte. A continuació s'explica el comportament de cada mode:

- Mode Seqüencial: Permet que el punter d'adreçament s'incrementi automàticament. Quan es treballa amb aquest mode, l'expansor incrementa el seu comptador intern d'adreces després de la transferència de cada byte de dades. Quan el punter d'adreçament arriba a l'últim registre, automàticament salta al registre de

la direcció 00H. Per exemple, si s'inicialitza el punter d'adreçament a la direcció 12H (GPIOA), el punter d'adreçament s'anirà incrementant després de cada transferència de dades, tal i com es pot veure a la Fig. 9.23.

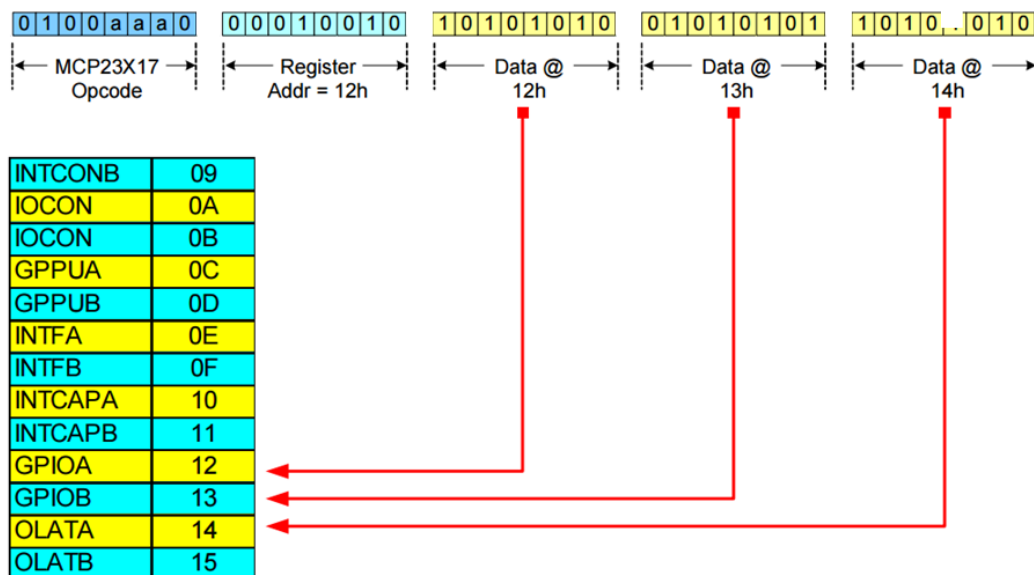


Fig. 9.23. Mode Seqüencial.

Si es desitges canviar d'un registre a un altre, on les seves direccions no es trobessin una al costat de l'altre, s'hauria d'inhabilitar el chip, tornar ha habilitar-lo i enviar l'OPCODE amb la direcció del registre desitjat.

- **Mode Byte:** Desactiva la incrementació automàtica del punter d'adreçament. Quan es treballa amb aquest mode, l'expansor no incrementa el seu comptador intern d'adreces després de la transferència d'una dada. Això dona la possibilitat d'accedir contínuament a la mateixa direcció sense la necessitat d'enviar bytes de control addicionals.

Una combinació especial (Mode Byte amb IOCON.BANK=0) permet que el punter d'adreçament vagi commutant entre els registres associats A/B. Per exemple, si s'inicialitza el punter d'adreçament a la direcció 12H (GPIOA) o 13H (GPIOB), el punter alternarà entre GPIOA i GPIOB, com mostra la Fig. 9.24..

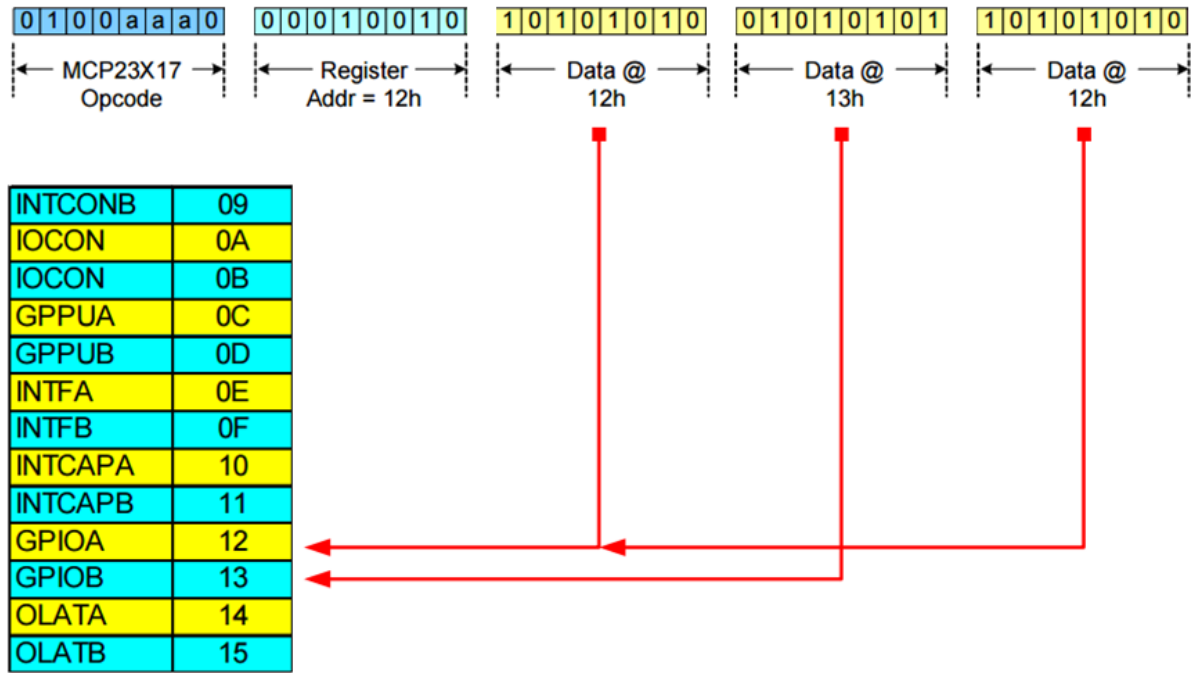


Fig. 9.24. Mode Bit amb IOCON.BANK=0.

Com que en aquest projecta el que interessa és enviar de forma continua valors en els ports A i B, el mode que s'utilitza és el Mode Byte.

10. Resultats.

En aquest capítol es mostra l'aspecte final del prototip i es verifica el seu funcionament amb el programa test creat en el capítol anterior.

10.1. Aspecte físic del prototip.7

Una vegada acoblades totes les parts que formen el prototip, s'ha obtingut el resultat mostrat a la Fig. 10.1.

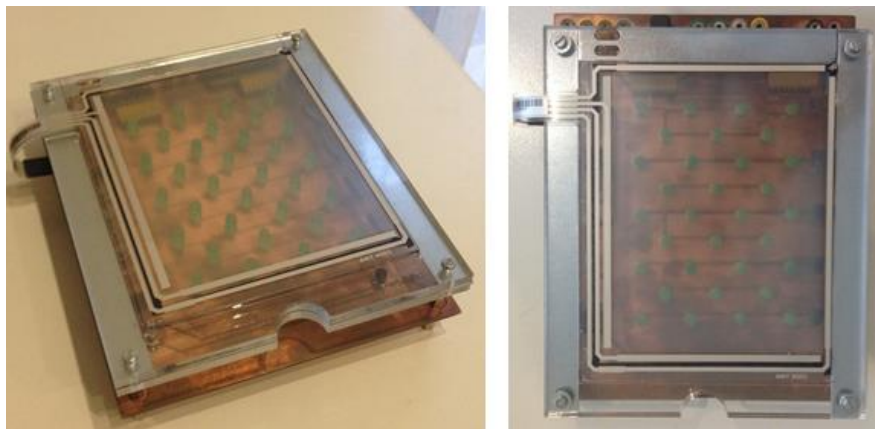


Fig. 10.1. Panell tàctil.

A continuació, la Fig. 10.2. mostra el panell connectat a la plataforma de treball MCLS-modulars.

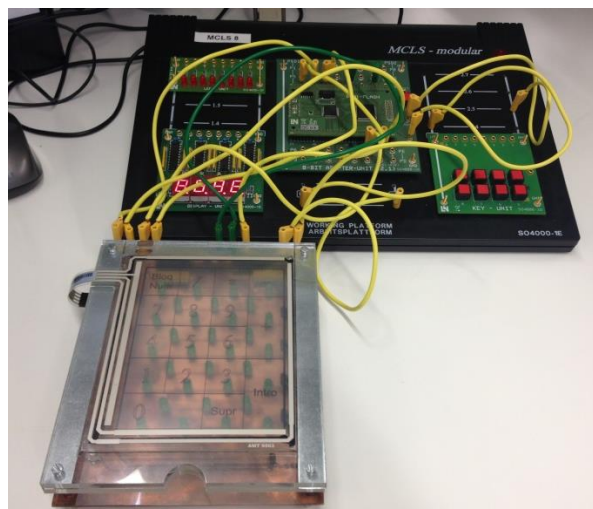


Fig. 10.2. Panell tàctil amb l'entrenador MCLS-modular.

En la imatge anterior es pot observar perfectament com la utilització de l'expansor de ports MCP23S17, proporciona una gran facilitat a l'hora de connectar i desconnectar el prototip de l'entrenador, ja que si la matriu de LEDs fos controlada directament pel C515C, provocaria una gran incomoditat al usuari a l'hora de connectar i desconnectar tants cables.

10.2. Verificació del prototip.

Abans de carregar el programa test, es procedeix a fer unes comprovacions de que tots els components de la placa responguin correctament. Un cop verificada la placa, es carrega el programa test i es testeja el funcionament del prototip.

Un cop posat en marxa, es pot observar a les imatges de la Fig. 10.3., com el prototip respon perfectament al programa, il·luminant les zones premudes al teclat i proporcionant una bona visibilitat de l'activació dels LEDs.

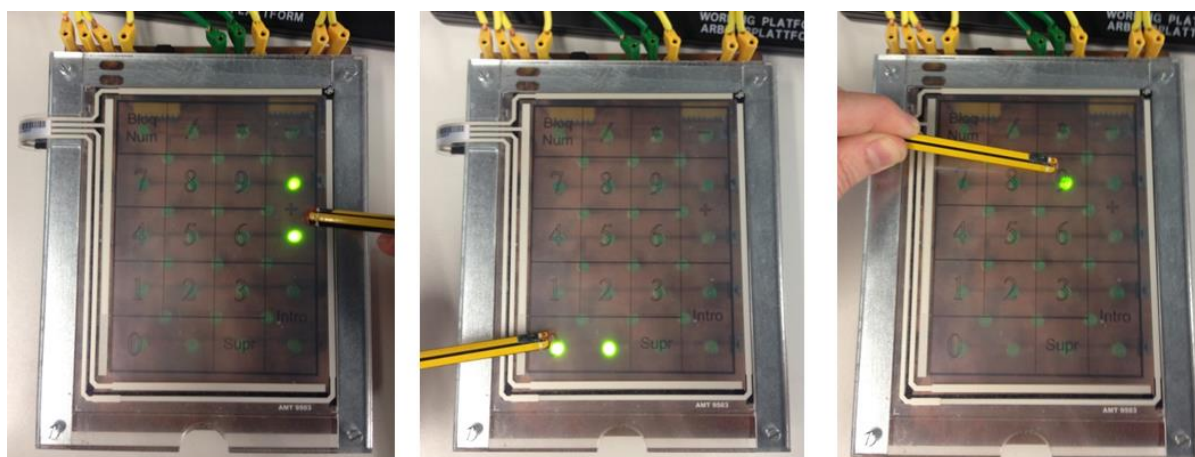


Fig. 10.3. Verificació del prototip.

Ja verificat el funcionament del panell i del programa test, es procedeix a fer una petita subrutina per observar com respondria a altres possibles aplicacions. A la Fig. 10.4. es pot observar com en canvi d'il·luminar la zona premuda per l'usuari, es visualitza el número de la tecla que ha estat premuda.

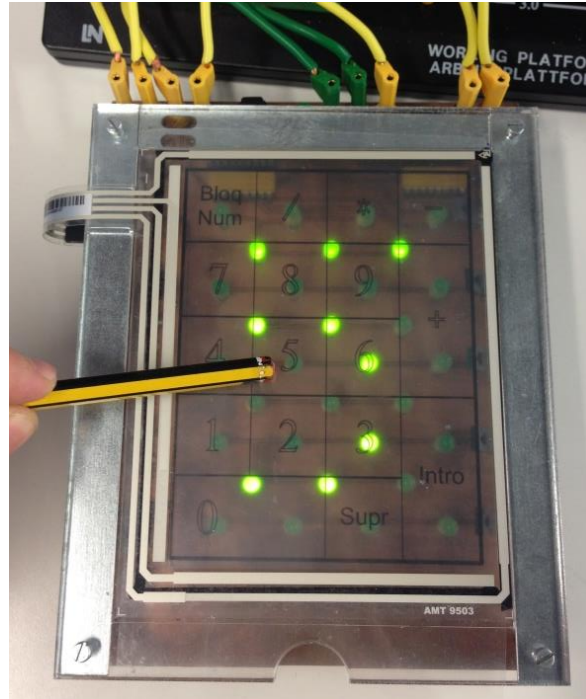


Fig. 10.4. Visualització de la tecla premuda al teclat.

Finalment, després d'utilitzar diferents bases de temps per la multiplexació de les files, s'ha comprovat que el parpelleig en els LEDs comença a ser visible a partir d'un valor superior a 2,5 ms.

11. Planificació del projecte.

Aquest capítol conté l'explicació detallada de la planificació que s'ha seguit per realitzar l'enginyeria de detall. Es preveu acabar el projecte uns 10 dies abans de la data límit, obtenint així, un marge de seguretat davant els possibles contratemps que puguin aparèixer durant la realització del projecte.

A la següent taula (11.1), es pot observar les diferents tasques que formen l'enginyeria de detall, conjuntament amb la seva duració.

Nom de la tasca	Duració (hores)	Començament	Finalització
Disseny del prototip	56	vie 20/02/15	vie 13/03/15
• Pantalla tàctil	10	vie 20/02/15	mar 24/02/15
• Panell de visualització	10	mié 25/02/15	vie 27/02/15
• Disseny mecànic	10	lun 02/03/15	mié 04/03/15
• Esquemes teòrics i plànols mecànics	10	mié 04/03/15	lun 09/03/15
• Disseny layout	16	lun 09/03/15	vie 13/03/15
Revisió de l'estudi econòmic	1	lun 16/03/15	lun 16/03/15
Obtenció del material	10 dies	jue 05/03/15	mié 18/03/15
Proves preliminars Laboratori	16	mié 18/03/15	mar 24/03/15
• Panell d'il·luminació matricial	6	mié 18/03/15	jue 19/03/15
• Pantalla tàctil	10	vie 20/03/15	mar 24/03/15
Circuit imprès	8 dies	mié 25/03/15	vie 03/04/15
Redacció de la memòria (1ra part)	25	mié 25/03/15	jue 02/04/15
Muntatge del prototip	16	lun 06/04/15	vie 10/04/15
• Panell de visualització	9	lun 06/04/15	mié 08/04/15
• Circuit electrònic	4	mié 08/04/15	jue 09/04/15
• Pantalla tàctil	3	jue 09/04/15	vie 10/04/15
Desenvolupament programari	32	vie 10/04/15	jue 23/04/15
• Programació pantalla tàctil	16	vie 10/04/15	jue 16/04/15
• Programació matriu de LEDs	16	jue 16/04/15	jue 23/04/15

Taula. 11.1. Planificació de l'enginyeria de detall (I).

Nom de la tasca	Duració (hores)	Començament	Finalització
Posada en marxa	57	jue 23/04/15	mié 06/05/15
• <i>Test prototip</i>	12	jue 23/04/15	vie 24/04/15
• <i>Rutines per aplicacions específiques</i>	45	vie 24/04/15	mié 06/05/15
Manual d'usuari	9	jue 07/05/15	lun 11/05/15
Redacció de la memòria (zona part)	25	lun 11/05/15	mar 19/05/15
Presentació esborrany de la memòria al ponent	-	mié 20/05/15	mié 20/05/15
Correccions de la memòria	4	mié 20/05/15	jue 21/05/15

Taula. 11.1. Planificació de l'enginyeria de detall (II).

A continuació, es procedeix a fer una breu explicació de les tasques nombrades a la taula.11.1.

- **Disseny del prototip.**

Es dissenya el panell tàctil, el panell de visualització i l'electrònica d'interfície necessària pel seu funcionament i comunicació amb el microcontrolador. També es duen a terme els esquemes teòrics, plànols mecànics i es dissenya el layout per la fabricació del circuit imprès.

- **Revisió de l'estudi econòmic.**

Un cop obtingut el disseny final del prototip amb tots els seus components, es procedeix a una revisió de l'estudi econòmic que s'havia realitzat anteriorment a l'avantprojecte.

- **Obtenció del material:**

A l'hora d'escollir el material que finalment s'utilitzarà per la construcció del prototip, es mira quins components té disponibles el Tecnocampus. L'únic component que és necessari per la construcció del prototip i no té disponible el Tecnocampus, és la pantalla tàctil, i per aquesta raó, s'ha de demanar a un distribuïdor de components electrònics.

- **Construcció i muntatge del prototip.**

- Proves preliminars al laboratori: Es duen a terme proves al laboratori amb els diferents components del prototip per verificar els càlculs teòrics realitzats anteriorment.
- Muntatge del prototip: Muntatge del panell tàctil, del panell de visualització i de l'electrònica d'interfície. S'ajunten les diferents parts i es verifica que no hi ha cap problema a la placa PCB.

- **Circuit imprès.**

El temps que tarda el Tecnocampus en fabricar una PCB és d'aproximadament 1 setmana.

- **Redacció de la memòria (1ra part).**

Redacció de la documentació que s'ha treballat fins ara.

- **Programació del prototip i realització del manual.**

- Desenvolupament de programari: Es desenvolupa rutines bàsiques de control del tàctil i de la il·luminació dels LEDs per verificar que aquests responen correctament sobre la PCB.
- Posada en marxa: Es creen els programes i rutines adients per fer funcionar el panell a nivell de demostració. Aquesta tasca es parteix en dos blocs, la primera part està destinada a testejar el prototip (comunicació tàctil-LEDs), mentre que la segona part està destinada a la programació d'un programa test per a la verificació del prototip
- Manual d'usuari: Es realitza un manual per l'usuari on s'explica les coses importants per un bon funcionament del prototip.

- **Redacció de la memòria (2ona part)**

Redacció de la documentació que pertany a la segona part de la memòria.

- **Presentació de l'esborrany de la memòria al ponent**

- **Correcció de la memòria**

Finalitzar la documentació i millorar alguns punts del treball.

Un cop explicades les tasques que formen el desenvolupament del projecte, es mostra, en la Fig. 11.1. el seu diagrama de Gantt.

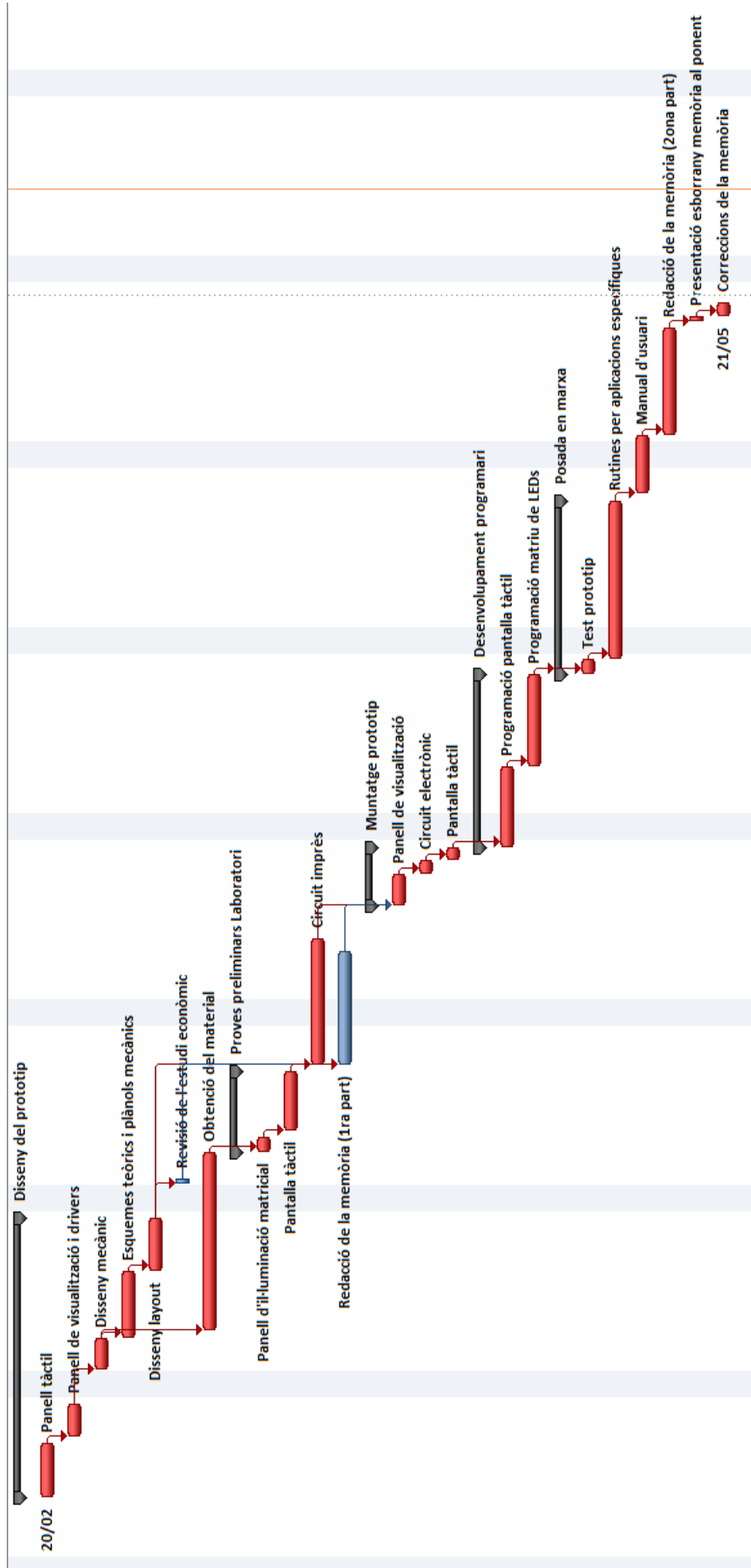


Fig. 11.1.1. Planificació de l'enginyeria de detall.

11.1. Desviacions de la planificació.

Durant la realització del projecte cal destacar un gran contratemps provocat per l'activitat anomenada "Obtenció del material". Per aquesta activitat es va estimar una duració de 10 dies, però finalment no es va obtenir tot el material fins quasi tres setmanes després d'haver tramitat la comanda. Exactament, el component que va retardar aquesta activitat va ser la pantalla tàctil, l'únic component que no disposava el Tecnocampus.

Un cop passades dues setmanes i veure que el material encara no havia arribat, va obligar a fer un replantejament de totes les activitats que quedaven per executar. Això, va causar un augment notori de les hores de treball durant l'últim mes per poder finalitzar el projecte dintre de la data límit.

Tot i augmentar les hores diàries de treball, la finalització del projecte es va retardar una setmana més del que s'havia previst, però tot i així no va sobrepassar la data límit d'entrega, gràcies al marge de seguretat que es va preveure per si sorgia algun tipus de complicació durant el transcurs del projecte.

El projecte s'ha finalitzat exactament el 27/05/2015 i, a la Fig. 11.2. es pot veure el diagrama de Gantt real amb el contratemps causat pel retard en l'obtenció de tot el material.

L'espai entre l'activitat "obtenció del material" i les activitats que formen les proves preliminars al laboratori, ve causada per la setmana Santa, ja que en aquella setmana la Universitat estava tancada.

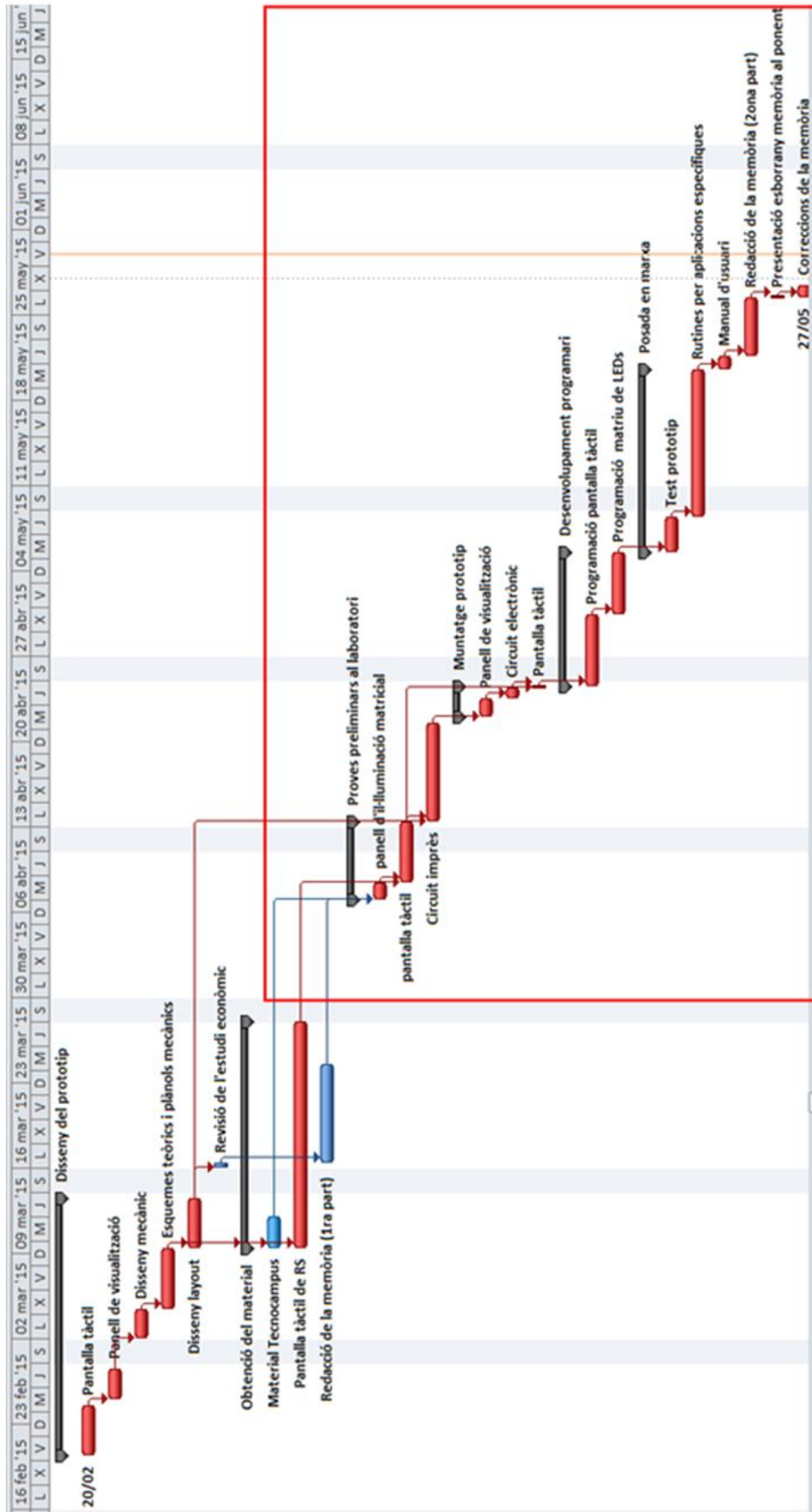


Fig. 11.2. Duració real de la planificació de l'enginyeria de detall.

12. Valoració de l'impacte ambiental.

El projecte es basa en la construcció d'un panell tàctil que s'utilitzarà per aplicacions experimentals pels entrenadors didàctics MCLS modular basats amb el microcontrolador C515C. Per tant, la quantitat de material que s'utilitzarà per la realització del projecta serà molt baixa i, degut a les seves característiques, es pot afirmar que les conseqüències mediambientals que podrà generar seran gairebé nul·les. Encara que aquestes conseqüències siguin poc significants, s'haurà de conèixer l'impacte ambiental que produeix construir aquest prototip.

L'impacte principal prové de la producció dels seus components, ja que per la fabricació d'aquests s'ha tingut que explotar el sòl per l'obtenció de matèries primeres. També s'ha de tenir en compte la possible contaminació que s'ha pogut causar durant la seva fabricació com per exemple gasos de CO₂ a l'atmosfera, aigües subterrànies, etc.

Finalment, es pot considerar l'impacte ambiental que tindrà el prototip un cop deixi de funcionar o es desitgi desmuntar. Tot el material que pugui ser reutilitzat, s'aprofitarà per la realització d'altres projectes, mentre que els que no es puguin aprofitar segurament acabaran en un abocador, on amb el pas del temps i l'acció d'efectes climàtics (sol, pluja i vent) acabaran contaminant el seu entorn.

13. Conclusions.

L'objectiu d'aquest treball era dissenyar i construir un panell tàctil amb una matriu de visualització que fos capaç de treballar amb diferents teclats senzills o altres geometries d'activació. Un cop construït el projecte i verificat el seu funcionament, es pot dir que s'ha complert tots els objectius, en major o menor mesura, marcats en el projecte .

El projecte realitzat és una eina molt interessant per l'aprenentatge de la programació de microcontroladors, ja que permet treballar i experimentar els diferents recursos que es disposa en el microcontrolador, com és la interfície SPI, el convertidor Analògic-Digital i les E/S digitals del microcontrolador.

Les dimensions finals del prototip i la utilització del expansor de ports MCP23S17, ofereixen una gran comoditat a l'usuari a l'hora de treballar amb el MCLS-modular. Això es degut a que les dimensions s'ajusten adequadament a l'entorn on s'utilitzarà i que la utilització de l'expansor de ports permet l'estalvi d'un gran número de cables pel control del panell de visualització.

Al ser un prototip destinat a fins educatiu té algunes limitacions. Les més destacades venen donades per:

- La tecnologia del tàctil utilitzat.

La pantalla tàctil resistiva només permet la detecció d'un punt de contacte, exclouent per tant, possibles aplicacions amb multitouch.

- La interfície en que treballa el MCP23S17.

El treballar amb un expansor de ports que funciona amb la interfície SPI, provoca que si el microcontrolador de l'usuari treballa amb una altra interfície ,com per exemple el bus I2C, l'usuari s'hauria de "crear" el bus SPI via software.

- Les dimensions del prototip.

Les dimensions del panell de visualització i de la pantalla tàctil, no permet la utilització de teclats o d'altres geometries amb grans dimensions.

Totes aquestes limitacions podrien ser importants, si l'objectiu d'aquest projecte fos obtenir el major número de vendes en el mercat, però com és un panell que ha estat dissenyat pel laboratori de l'EUPMT, aquestes limitacions afecten lleument al projecte.

El pressupost final del projecte ha petit una desviació de 671,18€, provocant un augment del 2,47% del cost previst inicialment en l'avantprojecte. Aquestes desviacions es poden trobar explicades dins del document de l'estudi econòmic.

Durant la realització del projecte va sorgir un contratemps amb l'obtenció del material, provocat una desviació en la duració del projecte d'una setmana. Però, gràcies al marge que de seguretat que es va prevenir a l'avantprojecte, s'ha pogut finalitzar dintre de la data d'entrega.

Un cop finalitzat el projecte, unes possibles millores que es podrien fer en el prototip i que podrien ser interessants, seria canviar la matriu de LEDs per una pantalla LCD. Aquest canvi permetria poder fer funcionar el panell com una calculadora o poder mostrar textos a la pantalla polsant les lletres prèviament al tàctil.

En el aspecte personal destacaria totes les capacitats obtingudes durant el desenvolupament del projecte. M'ha servit per aplicar conceptes apresos prèviament, com podria ser la programació de microcontroladors o els coneixements d'electrònica analògica per posar alguns exemples. Però també, aquest treball m'ha donat la oportunitat d'adquirir nous coneixement que anteriorment no disposava, com per exemple, el funcionament d'una pantalla resistiva o el protocol de comunicació del Bus SPI entre altres.

Finalment, fent un balanç de totes les situacions vívides durant el transcurs del projecte, puc dir que ha estat una experiència satisfactòria tan a nivell professional com a nivell personal.

14. Referències.

- [1] FABIO BACCAGLIONI (2009). Touchscreen, ¿resistive o capacitivo? [online]. Disponible a http://www.tecnogeek.com/verpost.php?id_noticia=817
- [2] Anònim (2013). *Touch screen controlada con arduino (DIY)*. Disponible a <http://www.editronikx.com/2013/07/touch-screen-controlada-con-arduino-diy.html>
- [3] ARIEL PALAZZESI; REINIER TORRES (2008). *μcontrol. Matrices de LEDs*. [versió electrònica]. Disponible a http://www.mediafire.com/view/arbl7q6jxxu11cm/ucontrol_revista_0003.pdf
- [4] WIKIPEDIA. *Color* [online]. 30 des 2014. Disponible a http://es.wikipedia.org/wiki/Color#El_espectro_visible_por_los_humanos
- [5] DUSAN MIHAJLOVIC (2009). *Pantalla tàctil*. [online]. MikroElektronika. Disponible a http://www.mikroe.com/downloads/get/467/es_mikroe_article_c_avr_01_09.pdf
- [6] M. ECHEVERRÍA; I. ANGULO; J.M. ANGULO (2008). *Pantallas táctiles para mejorar la presentación y el funcionamiento de nuestros productos*. [online]. Disponible a http://www.redeweb.com/txt/644_645/34.pdf
- [7] ATMEL Corporation (2007). *AVR341: Four and five-wire Touch Screen*. [online]. Disponible a <http://www.lysator.liu.se/~kjell-e/embedded/doc8091.pdf>
- [8] ALEIDA GOMEZ (2014); *Aplicacion de dispositivos lógicos programables (matriz de leds y memoria EEPROM)* [online]. Disponible a <http://www.cecyl3.ipn.mx/actividades-on-line/electronica-digital/1-PracticaMatrizElectronicaDigital.pdf>
- [9] MIKROELEKTRONIKA (2010). *Sistema de desarrollo*. [versió electrònica]. Disponible a http://www.mikroe.com/downloads/get/926/es_easyavr6_manual_v101.pdf
- [10] CARLOS ORLANDO; JESSICA GABRIELA (2006). *Construcción de un prototipo electrónico que informe sobre lugares vacantes a los usuarios de un*

parqueadero. [online]. Disponible a

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1942/1/CD-0295.pdf>

[11] FARNELL (2015). [online]. Disponible a <http://es.farnell.com/>

[12] RS COMPONENTS.(2015). [online]. Disponible a <http://es.rs-online.com/web/>