



TecnoCampus
Escola Superior
Politécnica

Centre adscrit a la



Universitat
Pompeu Fabra
Barcelona

Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica

-

Treball final de grau

**RE-ENGINYERIA D'UN BOOSTER PACK PER A LAUNCHPAD
TM4C123G I DESENVOLUPAMENT D'UNA NOVA PRÀCTICA**

Volum 1 - Memòria

ANIOL MANCHO I REBULL

PONENT: MARC FAUNDEZ ZANUY

TARDOR 2022 – PRIMAVERA 2023



TecnoCampus
Mataró-Maresme

Dedicatòria i agraïments

Dedicat a la meva família i a en J. Valvano.

Agraïments a en Marcos Faundez i en Marc Vigatà

Resum

El present projecte contempla l'elaboració d'una documentació millorada per al *Booster-pack* realitzat en el TFG d'en Marc Vigatà el 2021 per a la placa TIVA TM4C123G. A més, es crea una nova pràctica basada en el dit kit d'expansió per a l'assignatura de Microprocessadors

Al llarg del projecte es realitza una tasca de re-enginyeria a partir de la documentació disponible sobre el *Boosterpack*. A més a més es realitza documentació sobre les 14 pràctiques del curs de Cortex-M4 d'en J. Valvano. La realització de la nova pràctica per a l'assignatura de Microprocessadors inclou la conceptualització i desenvolupament d'una pràctica de laboratori que utilitza la pantalla Nokia 5110. Tots els passos a realitzar durant el treball segueixen una planificació amb tasques de detecció, avaluació i correcció dels possibles problemes sorgits durant el procés. Finalment s'incorpora un pressupost.

Resumen

El presente proyecto contempla la elaboración de documentación mejorada para el *Booster-pack* creado en el TFG de Marc Vigatà el 2021 para la placa TIVA TM4C123G además de una nueva práctica basada en el dicho kit de expansión para la asignatura de *Microprocessadors*.

A lo largo del proyecto se realiza un trabajo de reingeniería a partir de la documentación disponible sobre el *Booster-pack*. En paralelo, se realiza documentación sobre las 14 practicas del curso de Cortex-M4 de J. Valvano. La realización de la nueva práctica para la asignatura de *Microprocessadors* incluye la conceptualización y desarrollo de una práctica de laboratorio que utiliza la pantalla Nokia 5110. Todos los pasos realizados durante el trabajo siguen una planificación con tareas de detección, evaluación y corrección de los posibles problemas que pudiesen aparecer durante el proceso. Finalmente, se añade un presupuesto.

Abstract

This project includes the development of improved documentation for the *Booster-pack* created in the TFG of Marc Vigatà in 2021 for the TIVA TM4C123G board and a new practice based on this expansion kit for the Microprocessors course. Throughout the project, a re-engineering work is carried out based on the documentation available on the *Booster-pack*. In parallel, documentation on the 14 practices of the Cortex-M4 course of J. Valvano is made. The realization of the new practice for the Microprocessors course

includes the conceptualization and development of a laboratory practice using the Nokia 5110 screen. All the steps carried out during the work follow a planning with tasks of detection, evaluation and correction of the possible problems that could appear during the process. Finally, a budget is added.

Índex.

ÍNDEX DE FIGURES.	IV
ÍNDEX DE TAULES.	VI
GLOSSARI DE TERMES.	VII
1. OBJECTIUS.	1
1.1. PROPÒSIT.	1
1.2. FINALITAT.	1
1.3. OBJECTE.	1
1.4. CONTEXT ON S'EMMARCA EL PROJECTE.	2
1.5. TRANSFERÈNCIA DE CONEIXEMENT DEL TECNOCAMPUS.	2
2. ANTECEDENTS I NECESSITAT D'INFORMACIÓ.	3
2.1. TM4C123GXL LAUNCHPAD.	3
2.1.1. <i>Les interrupcions en el microcontrolador TM4C123GXL</i>	5
2.1.2. <i>Oscil·ladors i timers del TM4C123GXL</i>	6
2.1.3. <i>UARTs del TM4C123GXL</i>	8
2.1.4. <i>GPIO del TM4C123GXL</i>	9
2.2. PROGRAMACIÓ EN C.	11
2.3. PRÀCTIQUES DE LABORATORI D'EN J. VALVANO.	14
2.3.1. <i>LAB4. Switches and LEDs</i>	14
2.3.2. <i>LAB5. C Functions</i>	15
2.3.3. <i>LAB6. Branching functions and delays</i>	16
2.3.4. <i>LAB7. HeartBlock</i>	17
2.3.5. <i>LAB8. Switch LED interface</i>	18
2.3.6. <i>LAB9. Functional Debugging</i>	18
2.3.7. <i>LAB10. Traffic Light</i>	19
2.3.8. <i>LAB11. UART</i>	21
2.3.9. <i>LAB12. Tuning Fork</i>	22
2.3.10. <i>LAB13. DAC</i>	22
2.3.11. <i>LAB14. ADC i adquisició de dades / Distància</i>	23
2.3.12. <i>LAB15. Space Invaders</i>	25
2.4. BOOSTERPACK D'EN MARC VIGATÀ PER A LAUNCHPAD TIVA TM4C123G.	27
2.5. NOKIA 5110.	32
2.6. LEGISLACIÓ.	33
3. ABAST.	35
4. OBJECTIUS I ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES.	37

II

5. METODOLOGIA.	39
6. ANÀLISI DE VIABILITAT.	41
6.1. VIABILITAT TÈCNICA.....	41
6.2. VIABILITAT ECONÒMICA.	41
6.2.1. <i>Amidaments</i>	42
6.2.2. <i>Quadre de preus</i>	42
6.2.3. <i>Pressupost parcial</i>	43
6.2.4. <i>Pressupost global</i>	45
6.3. VIABILITAT MEDIAMBIENTAL.	45
6.4. PERSPECTIVA DE GÈNERE.	46
7. DESENVOLUPAMENT DE DOCUMENTACIÓ PER AL BOOSTERPACK.	47
7.1. PROBLEMES PRESENTS A LA PLACA ELABORADA PER EN MARC VIGATÀ.....	47
7.1.1. <i>Rutes massa properes</i>	47
7.1.2. <i>GND massa prim i proper a senyals</i>	48
7.1.3. <i>Sistema de DAC massa petit per R i D</i>	48
7.1.4. <i>Connector X3 del revés</i>	49
7.1.5. <i>Serigrafia X4 i X5 cap per avall</i>	50
7.1.6. <i>Serigrafia dels switches poc intuïtiva</i>	50
7.1.7. <i>DAC sona tot igual</i>	51
7.2. DISSENY D'UNA NOVA PLACA BOOSTERPACK.	52
7.3. FABRICACIÓ DE LA REV.1 DEL BOOSTERPACK.	57
7.3.1. <i>Arribada de components</i>	57
7.3.2. <i>Gerbers del nou boosterpack</i>	58
7.3.3. <i>Elecció del fabricant</i>	58
7.4. VALORACIÓ ECONÒMICA DEL NOU DISSENY.	58
8. CREACIÓ DELS 5 PROTOTIPS FINALS.	61
8.1. VALORACIÓ I MILLORES A FUTUR.	69
9. DOCUMENTACIÓ DE LES PRÀCTIQUES DE MICROPROCESSADORS.	71
9.1. DOCUMENTACIÓ DE LES PRÀCTIQUES LABO – LAB19.	73
10. PRÀCTICA LAB19	75
10.1. DESENVOLUPAMENT DEL LAB19.....	75
10.2. LLISTA DE HARDWARE NECESSARI PER AL LAB19.	77
10.3. ANUNCIAT DEL LAB19.	77
10.4. COMPROVAMENT DEL LAB19.....	82
10.5. SOLUCIÓ DEL LAB19.....	82

11. CONCLUSIONS.	87
12. PLANIFICACIÓ.	89
12.1. PLANIFICACIÓ A DATA D'ENTREGA DE L'AVANTPROJECTE.	89
12.2. PLA DE CONTROL.	91
13. REFERÈNCIES.	95

Índex de figures.

<i>Figura 2.1.1. Targeta d'avaluació Tiva™ EK-TM4C123GXL.</i>	3
<i>Figura 2.1.2.1. Estructura de la instrucció STCTRL per configurar el SysTick.</i>	7
<i>Figura 2.1.4.1. Configuració dels pins dins TM4C123GH6PM.</i>	10
<i>Figura 2.1.4.2. Utilització de la instrucció RCGC2.</i>	11
<i>Figura 2.2.1. Exemple de pseudo-codi i diagrama de blocs per a una estructura iterativa.</i>	11
<i>Figura 2.3.1.1. Connexionat Hardware del lab4.</i>	15
<i>Figura 2.3.3.1. Flowchart del laboratori 6.</i>	16
<i>Figura 2.3.3.2. Validació del lab 6 a partir de l'oscil·loscopi del Keil uVision.</i>	16
<i>Figura 2.3.4.1. Hardware emprat dins el lab7.</i>	17
<i>Figura 2.3.4.2. Simulador i oscil·loscopi de Keil uVision.</i>	17
<i>Figura 2.3.5. Connexionat del hardware del lab8.</i>	18
<i>Figura 2.3.6.1. Logic Analyzer al final del laboratori.</i>	19
<i>Figura 2.3.7.1. Esquemàtica teòrica de l'anunciat del laboratori 10.</i>	19
<i>Figura 2.3.7.2. Disposició Hardware al laboratori 10.</i>	20
<i>Figura 2.3.9.1. Connexió hardware del lab12.</i>	22
<i>Figura 2.3.9.2. Sortida de la placa al lab12.</i>	22
<i>Figura 2.3.10. Flow de dades del laboratori 13.</i>	23
<i>Figura 2.3.10.2. Divisió del laboratori 13 en diferents arxius.</i>	23
<i>Figura 2.3.11.1. Diagrama de funcionament del laboratori 14.</i>	24
<i>Figura 2.3.11.2. Exemple de relació lineal d'un potenciòmetre.</i>	24
<i>Figura 2.3.12.1. Captura de pantalla del videojoc Space Invaders.</i>	26
<i>Figura 2.4.1. Boosterpack d'en Marc Vigatà.</i>	28
<i>Figura 2.4.2. Placa Pilot presentada per en Marc Vigatà.</i>	28
<i>Figura 2.4.3. Esquemàtica definitiva PCB d'en Marc Vigatà.</i>	29
<i>Figura 2.5.1. Nokia 5110 en una placa per desenvolupament.</i>	32
<i>Figura 5.1. Diagrama de processos aplicada al desenvolupament del projecte.</i>	39
<i>Figura 5.2. Disseny TOP-DOWN.</i>	40
<i>Figura 7.1.1.1. Exemple de rutes massa properes dins la PCB d'en Marc Vigatà.</i>	47
<i>Figura 7.1.2.1. Amplada de la ruta GND.</i>	48
<i>Figura 7.1.3.1. Disseny de la divisió DAC a la placa pilot d'en Marc Vigatà.</i>	49
<i>Figura 7.1.4.1. Problema de la placa pilot.</i>	49
<i>Figura 7.1.4.2. Problema de la placa definitiva d'en Marc Vigatà.</i>	50
<i>Figura 7.1.5.1. Serigrafia X4 i X5.</i>	50
<i>Figura 7.2.1. Mida dels forats passants.</i>	52
<i>Figura 7.2.2. Mida de la distància entre components, forats i vies.</i>	53
<i>Figura 7.2.3. Mida de els vies normals.</i>	53
<i>Figura 7.2.4. Mida de les vies de terra (GND).</i>	53

<i>Figura 7.2.5. Mida dels forats interns PCB.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 7.2.6. Esquemàtica de rutes i components del boosterpack Rev.1.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 7.2.7. Figura 3D del boosterpack cara amunt.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 7.2.8. Figura 3D del boosterpack cara avall.</i>	<i>56</i>
<i>Figura 8.1. Confirmació del disseny de la PCB a fabricar, cara superior.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 8.2. Confirmació del disseny de la PCB a fabricar, cara inferior.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 8.3. Recepció de l'embolcall de les 6 PCBs.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 8.4. Aplicació de flux sobre boosterpack.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 8.5. Soldadura dels pins dels components del boosterpack.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 8.6. Soldadura dels pins dels components del boosterpack.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 8.7. Estris emprats per a l'eliminació de la resta de flux.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 8.8. Aplicació de l'alcohol 70º Sobre una de les PCBA i fregar amb raspall.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 8.9. Comparació del flux restant abans i després de l'aplicació d'alcohol.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 8.10. Part frontal del primer boosterpack acabat.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 8.11. Part de darrere del primer boosterpack acabat.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 8.12. Vista frontal de les 5 PCBAs i la PCB sobrant.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 8.13. Vista de darrere de les 5 PCBAs i la PCB sobrant.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 8.1.1. Col·lisió entre X4 i USB.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 9.4. Selecció del gradder.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 10.1.1. Pins presents a la pantalla Nokia5110.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 10.1. Diagrama de flux de les etapes del lab 19.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 10.3.1. Exemple de la primera part del programa.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 10.3.2. Declaració i assignació de valor (correcta) dels Strings en C.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 10.3.3. Declaració i assignació de valor a un String (potencialment incorrecta) en C.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 10.3.4. Exemple de la segona part del programa.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 10.3.5. Esquema de funcionament de la tercera aplicació del LAB19.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 10.3.6. Hardware del launchpad emprat.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 10.3.7. Hardware del bosterpack emprat.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 12.1.1. Planificació a l'entrega de l'avantprojecte.</i>	<i>89</i>

Índex de taules.

<i>Taula 2.1.1. Regions i tipus de memòria de Cortex</i>	<i>5</i>
<i>Taula 2.1.1.1. Llista d'interrupcions aplicables al microprocessador TM4C123G.</i>	<i>6</i>
<i>Taula 2.2.1. Caràcters d'inici i fi de declaracions en C.....</i>	<i>12</i>
<i>Taula 2.2.2. Tipus de dades en C.....</i>	<i>13</i>
<i>Taula 2.2.3. Caràcters especials en C.....</i>	<i>13</i>
<i>Taula 2.3.1.1. Requeriments per passar el lab4.....</i>	<i>15</i>
<i>Taula 2.3.7.1. Selecció de les diferents entrades i sortides de la pràctica 10.</i>	<i>21</i>
<i>Taula 2.3.8.1. Primera funció per passar de números a strings al lab11.....</i>	<i>21</i>
<i>Taula 2.3.8.2. Segona funció per passar de números a strings amb unitat al lab11.....</i>	<i>21</i>
<i>Taula 2.3.12.1. Connexions entre pins entre el launchpad i la pantalla Nokia 5110.....</i>	<i>27</i>
<i>Taula 2.4.1. Posicions dels switches al boosterpack per a cada pràctica.</i>	<i>29</i>
<i>Taula 2.4.2. Llista de components amb els seus valors mesurats.....</i>	<i>30</i>
<i>Taula 2.4.3. Cost de materials presentat al TFG d'en Marc Vigatà.</i>	<i>31</i>
<i>Taula 2.4.4. Equivalències pins del launchpad amb els components del boosterpack.</i>	<i>32</i>
<i>Taula 2.5.1. Correspondència dels pins de la pantalla amb els pins de la placa.</i>	<i>33</i>
<i>Taula 6.2.1.1. Amidaments del capítol I del pressupost.</i>	<i>42</i>
<i>Taula 6.2.2.2.1. Quadre de preus del capítol I del pressupost.</i>	<i>42</i>
<i>Taula 6.2.3.1. Capítol I: Elaboració del projecte.</i>	<i>43</i>
<i>Taula 6.2.3.2. Capítol II: Material.</i>	<i>43</i>
<i>Taula 6.2.3.3. Capítol III: Amortitzacions.....</i>	<i>44</i>
<i>Taula 6.2.3.4. Amortització per hora de material i software.....</i>	<i>44</i>
<i>Taula 6.2.4.1. Pressupost global de l'avantprojecte.....</i>	<i>45</i>
<i>Taula 6.3.1. Taula resum Factors impactants.....</i>	<i>45</i>
<i>Taula 6.3.2. Taula resum Factors ambientals impactants.....</i>	<i>46</i>
<i>Taula 7.1.6.1. Taula de selecció de switches amb la nova serigrafia.</i>	<i>51</i>
<i>Taula 7.2.1. Llista de components de la PCB del boosterpack.....</i>	<i>54</i>
<i>Taula 7.3.1.1. Llistat de components emprats per al boosterpack i dates d'arribada.....</i>	<i>57</i>
<i>Taula 7.4.1. Evolució del preu dels components.....</i>	<i>59</i>
<i>Taula 8.1. Comprovació del funcionament de totes les PCBAs amb els diferents LABS.....</i>	<i>68</i>
<i>Taula 9.1. Comparació d'utilització de les pràctiques d'en J.Valvano.</i>	<i>71</i>
<i>Taula 9.2. Configuració dels switches al boosterpack per als diferents laboratoris.</i>	<i>73</i>
<i>Taula 10.3.1. Connexió dels commutadors al boosterpack per al lab 19.</i>	<i>78</i>
<i>Taula 12.1.1. Planificació de tasques a dia d'entrega de l'avantprojecte.</i>	<i>90</i>
<i>Taula 12.1.2. Hores concedides a cada tasca i taula annexa de control.</i>	<i>91</i>
<i>Taula 12.2.1. Pla de contingència del treball.....</i>	<i>92</i>

Glossari de termes.

Boosterpack: Pack d'expansió del *launchpad*.

Buzzer: Brunzidor.

CPU: Unitat central de processament d'un computador.

DAC: Convertidor Digital-Analògic (*Digital-to-Analog Converter*).

Datasheet: Fulla de característiques tècniques.

Debugger: Accedir al programa per a extreure'n errors.

Driver: Controlador.

EEIA: Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica.

EUA: Estats Units d'Amèrica.

GND: Connexió a terra / 0 Volts.

GPIO: Entrades i sortides de múltiple propòsit (*General Purpose Input/Output*).

IDE: Entorn integrat de desenvolupament (*Integrated Development Environment*). P.ex. Keil uVision.

ISR: Rutina de servei d'interrupcions (*Interrupt Service Routine*).

Launchpad: Placa de desenvolupament hardware sobre microcontrolador.

LCD: De pantalla de cristall líquid (*liquid-crystal display*). És una pantalla prima i plana formada per un determinat nombre de píxels col·locats davant una font de llum o reflectora.

LED: Díodes que emeten llum (*Light emitting diode*).

PCB: Placa de circuits impresa (*Printed Circuit Board*).

PCBA: Placa de circuits impresa assemblada (*Assembled Printed Circuit Board*).

PIOSC: Oscil·lador intern de precisió (*Precision internal oscillator*).

VIII

PWM: Modulació d'amplada de pols (*Pulse-width modulation*).

TFG: Treball de final de grau.

Vcc: Voltatge d'alimentació continu.

1. Objectius.

1.1. Propòsit.

El propòsit d'aquest projecte és el de re-documentar el *boosterpac*k creat per en Marc Vigatà durant el seu TFG d'EEIA al Tecnocampus l'any 2021 per al *launchpad* de Texas Instruments TM4C123G. A això se li incorpora la documentació de les pràctiques de laboratori de l'assignatura de Microprocessadors i la creació d'una pràctica nova.

1.2. Finalitat.

Fins ara, l'estudiant de l'assignatura de Microprocessadors ha realitzat la comprovació del funcionament dels seus codis realitzats a pràctiques mitjançant hardware muntat a cuitacorrents o s'ha desestimat directament la comprovació per hardware (degut al cost de temps que suposa i a que no és una tasca contemplada dins l'assignatura) i se'n fa via mitjançant una comprovació per *built-in* software. Això resta cert atractiu a les pràctiques ja que no es té la comprovació física de que el codi funciona. Els kits d'expansió busquen solucionar això oferint una placa on s'hi troba tot el hardware pre-muntat i només s'han de configurar diversos interruptors per seleccionar el *lab* a realitzar, muntar la placa i fer córrer el codi del dit *lab*.

A dia d'avui aquest *boosterpac*k ja creat no s'ha pogut reproduir i emprar a l'assignatura degut a la pobra documentació que es va entregar amb el TFG inicial d'en Marc Vigatà consistent en una placa pilot no del tot funcional i falta d'esquemàtiques de la *PCB*. Gràcies al present projecte es busca poder posar en ús finalment els *boosterpac*ks dins les pràctiques de l'assignatura de Microcontroladors del grau d'EEIA al Tecnocampus. A més a més es busca crear una nova pràctica per a poder explorar una mica més el funcionament de la pantalla Nokia 5110 i documentar-la al igual que les pràctiques de Nokia 5110 dels *labs* 14 i 15.

1.3. Objecte.

El present projecte conté la investigació sobre l'estat actual de la documentació del *boosterpac*k d'en Marc Vigatà, la documentació nova del *boosterpac*k realitzada, documentació i guies d'ús amb solució per a les pràctiques de laboratoris de microcontroladors i el plantejament, desenvolupament, implantació i documentació final de la nova pràctica creada per a la pantalla Nokia 5110.

Notis que es realitza proves sobre el hardware real en proves pilot.

1.4. Context on s'emmarca el projecte.

A l'assignatura de Microprocessadors es realitza un seguit de pràctiques proposades per el professor de l'assignatura basades en pràctiques al seu torn dissenyades per en Jonathan Valvano, professor a la Universitat de Texas d'Austin als EUA. En aquestes pràctiques es controla i es simulen diferents sistemes, com poden ser una cruïlla de semàfors, un petit piano digital per síntesi de so a partir de DAC o un sistema de mesura i visualització d'una longitud (Valvano, 2020). Per a poder provar el correcte funcionament d'aquests sistemes, els alumnes primer realitzen una simulació per software. Gràcies al *boosterpack*, a part de simular per software, la comprovació final es podrà realitzar sobre hardware.

L'esmentada assignatura es centra en aprendre sobre l'estructura i mètodes de programació d'un processador Cortex M4 i no inclou els muntatges d'electrònica analògica i/o digital. És en aquest fet on rau la importància del *boosterpack*, per ajudar a aprofitar el temps dedicat a l'assignatura al que realment importa.

1.5. Transferència de coneixement del Tecnocampus.

El present TFG s'emmarca dins del grau d'electrònica industrial i automàtica (EEIA) i busca fer servir els diversos conceptes apresos al llarg de les seves assignatures i demostrat que l'alumne els ha interioritzat. Especialment s'empraran conceptes apresos a Gestió de projectes I (101333) i II (101421), Electrònica Analògica I (101312) i II (101322), Electrònica Digital I (101222) i II (101314), Microprocessadors (101324) i Informàtica Industrial (101334). Es fa servir i es continua la tasca del TFG d'en Marc Vigatà el 2021 extret del repositori de TFGs del Tecnocampus amb permís exprés seu.

2. Antecedents i necessitat d'informació.

Per a poder definir la solució a presentar, s'ha d'investigar amb quina informació es compta i es podrà aprofitar més endavant al treball.

- Cerques d'informació per internet.
- Portals especialitzats d'electrònica.
- Placa Pilot soldada per al TFG d'en Marc Vigatà.
- Memòria i annexos dels TFG d'en Marc Vigatà [1, 2].
- Informació teòrica impartida en diferents assignatures del grau d'EEIA
- Manuals d'ús i tècnics de les plaques TM4C123 [3–5].
- Documentació tècnica (*datasheets* i instruccions d'ús de productes acabats)

2.1. TM4C123GXL LaunchPad.

La placa de desenvolupament que es farà servir al projecte s'anomena TM4C123GXL. Aquesta és una solució de baix cost per a microcontroladors basats en arquitectura de 43bits. Forma part de la família Tiva C Series de microcontroladors produïts per Texas Instruments. Aquesta família està dissenyada per aplicacions que requereixen d'una combinació de diverses prestacions, baix consum i amb capacitats de comunicació altes. Les prestacions i característiques s'indiquen a continuació [6]:

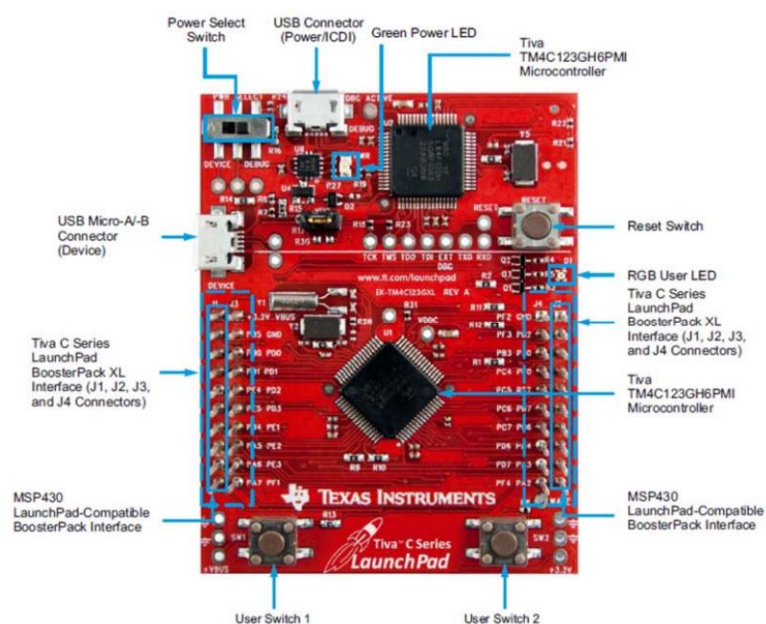


Figura 2.1.1. Targeta d'avaluació Tiva™ EK-TM4C123GXL.

- Prestacions:
 - 1) CPU: ARM Cortex M4F
 - 2) 80MHz-M4F;100DMIPS
 - 3) 256 kB de memòria Flash de cicle únic
 - 4) 32kB de SRAM de cicle únic
 - 5) 2 Kbytes E²PROM
- 6) ROM interna
- Interfícies de comunicació
 - 1) USB 2.0. OTG/Host/Device
 - 2) 8 UARTs,
 - 3) 4 SPIs,
 - 4) 6 I2Cs,
 - 5) 2 controladors Bus CAN A/B
- Integració de sistema
 - 1) Controlador μ DMA de 32 canals
 - 2) Timers de propòsit general (GPTM): 6 x 16/32 bits; 6 x 32/64 bits
 - 3) 2 Watchdog timers
 - 4) Mòdul d'hivernació (HIB)
 - 5) 6 blocs físics de GPIO (*General Purpose IO*)
- Control de moviment avançat
 - 1) 16 sortides PWM (*Pulse Width Modulator*)
 - 2) 2 mòduls QEI (*Quadrature Encoder Interface*)
- Suport analògic
 - 1) 2 convertidors ADC de 12 bits ($f_s = 1$ MHz)
 - 2) 2 comparadors analògics independents
 - 3) 16 comparadors digitals
 - 4) 1 mòdul JTAG amb SWD ARM integrat
- Encapsulat LGFP de 64 pins
- Oscil·lador de 16MHz i un altre de 32.768 kHz per a *Real-Time clock*

El microprocessador entén llenguatge *assembly* i per poder carregar llenguatges d'alt nivell necessita d'un IDE. Aquest model afegeix suport per a diferents IDEs: *Texas Instruments' Code Composer Studio™ IDE*, *Keil ARM RealView® Microcontroller Development System*, *IAR Embedded Workbench for ARM* i *Sourcery CodeBench*.

A continuació s'inclou informació important per al desenvolupament d'aplicacions dins d'una estructura de *Cortex-M4F* que és la que s'empra en el TM4C123GXL.

Rango de direcciones	Región de memoria	Tipo de memoria	Descripción
0x0000.0000-0x1FFF.FFFF	Código	<i>Normal</i>	Región para el almacenamiento de código y datos
0x2000.0000-0x3FFF.FFFF	SRAM	<i>Normal</i>	Región para el almacenamiento de datos
0x4000.0000-0x5FFF.FFFF	Periféricos	<i>Device</i>	Región para la configuración y acceso a periféricos
0x6000.0000-0x9FFF.FFFF	RAM externa	<i>Normal</i>	Región externa para el almacenamiento de datos
0xA000.0000-0xDFFF.FFFF	Dispositivo externo	<i>Device</i>	Región para dispositivos externos
0xE000.0000-0xE00F.FFFF	<i>Private Peripheral Bus</i>	<i>Strongly Ordered</i>	Región que incluye el NVIC, <i>timer</i> de sistema y bloque de control de sistema
0xE010.0000-0xFFFF.FFFF	Reservado	-	-

Taula 2.1.1. Regions i tipus de memòria de *Cortex*

2.1.1. Les interrupcions en el microcontrolador TM4C123GXL.

El sistema d'interrupcions de Cortex M4 correspon a un sistema vectoritzat amb 256 nivells de prioritats. Cada nivell té un vector d'interrupció que permet l'accés a la rutina de servei corresponent (ISR). Cada vector d'interrupció ocupa 4 bytes i emmagatzema l'adreça d'inici de la corresponent ISR. En reiniciar el sistema, la taula de vectors es fixa a l'adreça 0x0000.0000. En mode privilegiat es pot escriure en el *Vector Table Offset* (VTABLE) per a reubicar l'adreça inicial de la taula de vectors en una altra ubicació de memòria, en el rang 0x0000.0400 a 0x3FFF.FC00. Notis que quan es configura el registre VTABLE, el desplaçament s'ha d'alinejar en un límit de 1024 bytes.

Gràcies al fitxer `tm4c123gh6pm.h` que està inclòs als arxius de capçalera del codi, no fa falta definir les interrupcions amb la seva adreça completa, sinó amb el seu nom. Per exemple es pot definir una interrupció amb l'etiqueta `INT_GPIO` (nom clarificador i intuïtiu) en comptes d'haver d'anar a buscar l'adreça corresponent a aquesta interrupció a la taula de vectors d'interrupció per després introduir-la [7]. D'entre les funcions més emprades hi ha `EnableInterrupts()` i `DisableInterrupts()`.

Pel que fa a les interrupcions GPIO, que responen a estímuls als pins d'entrada / sortida, n'existeixen 4 tipologies:

- Flanc de pujada
- Flanc de baixada
- Nivell alt
- Nivell baix

Un altre apartat important de les interrupcions són les basades en *timer* per exemple per SysTick.

La funció on s'escriu que es vol fer cada cop que hi hagi una interrupció per SysTick és SysTick_Handler(void){ }. Notis que abans de omplir aquesta funció s'ha de tenir activat el SysTick i les seves interrupcions.

A continuació es presenta una taula amb tots els tipus d'interrupció suportats per el controlador d'interrupcions vectoritzades anidades (NVIC) de Cortex M-4. No s'expliquen ja que allargarien molt aquest apartat i es troben dins el *datasheet* del Tiva TM4C123GH6PM.

# Interrupció	Interrupció	Localització a la memòria	Nivell de prioritat [256 nivells]
0	Stack Pointer Initial Value	0x00000000	
1	Reset	0x00000004	-3 Highest
2	NMI	0x00000008	-2
3	Hard Fault	0x0000000C	-1
4	Memory Management Fault	0x00000010	Programmable
5	Bus Fault	0x00000014	Programmable
6	Usage Fault (undefined instructions, divide by zero, unaligned memory access, ...)	0x00000018	Programmable
7	Reserved	0x0000001C	Programmable
8	Reserved	0x00000020	Programmable
9	Reserved	0x00000024	Programmable
10	Reserved	0x00000028	Programmable
11	SVCall	0x0000002C	Programmable
12	Debug Monitor	0x00000030	Programmable
13	Reserved	0x00000034	Programmable
14	PendSV	0x00000038	Programmable
15	SysTick	0x0000003C	Programmable
16	IRQ for peripherals	0x00000040	Programmable
17	IRQ for peripherals	0x00000044	Programmable
...
255	IRQ for peripherals	0x000003FC	Programmable

Taula 2.1.1.1. Llista d'interrupcions aplicables al microprocessador TM4C123G.

2.1.2. Oscil·ladors i *timers* del TM4C123GXL.

Com s'ha informat anteriorment, la placa d'avaluació utilitzada compta amb 2 oscil·ladors.

- Oscil·lador de 16MHz i un altre de 32.768 kHz per a *Real-Time clock*

Es farà servir l'oscil·lador de 16 MHz degut a que compta amb una precisió de $\pm 50 \cdot 10^{-6}$. Mentre que l'oscil·loscopi intern de 32.768 kHz intern té una precisió de només el 1% [8].

SysTick (o temportizador del sistema) és un comptador regressiu de 24 bits. Quan el compte CURRENT arriba a 0, torna al valor de RELOAD.

Els tres registres que componen el rellotge són:

- STCTRL: Configuració del rellotge, posar disponible el comptador, disponibilitat de la interrupció per comptador i determinar estatus dels comptadors.

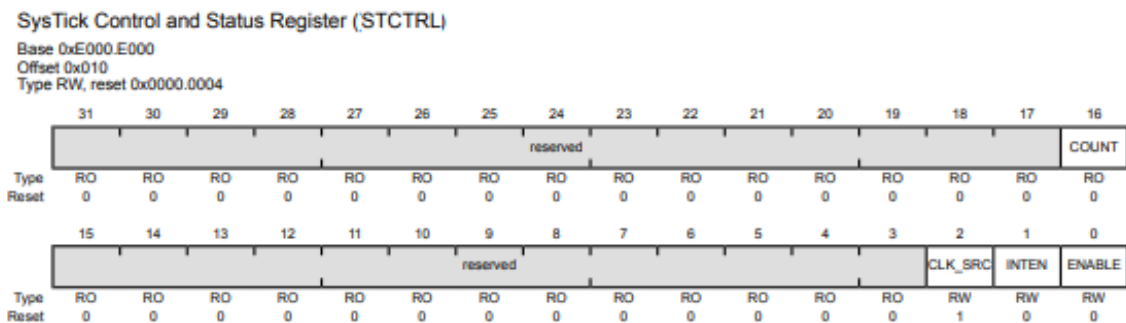


Figura 2.1.2.1. Estructura de la instrucció STCTRL per configurar el SysTick.

Bit 16 (COUNT): Comptador, 1 si ha arribat a 0 des de l'últim cop que es va mirar.
 Bit 2 (CLK_SRC): 0 per PIOSC dividit per 4 o 1 per configurar el rellotge del sistema.
 Bit 1 (INTEN): Generació d'interrupcions, 1 o 0.
 Bit 0 (ENABLE): Activació o desactivació del comptador, 1 o 0.

- STRELOAD: Valor de RELOAD per al comptador. Determina el temps de compte.
- STCURRENT: Valor actual del comptador.

Els passos a seguir per a inicialitzar-lo són:

- Posar a 0 l'ENABLE del comptador durant la inicialització.
- Posar a 1 el registre de RELOAD.
- Escriure el valor NVIC_ST_CURRENT_R per netejar el comptador.
- Escriure el mode desitjat a NVIC_ST_CTRL_R.
 - 1) CLK_SRC determina el cristall oscil·lador a emprar.
 - 2) INTEN per determinar si s'empren les interrupcions per comptador.
 - 3) Re-escriure el bit d'ENABLE com a 1 per inicial finalment el comptador.

S'activa en format d'exemple de la següent manera [8]:

```

NVIC_ST_CTRL_R = 0; //Disable SysTick during setup
NVIC_ST_RELOAD_R = 2841-1; //reload value with A
NVIC_ST_CURRENT_R = 0; //any write to current is cleared
NVIC_SYS_PRI3_R = (NVIC_SYS_PRI3_R & 0x00FFFFFF) | (0x20000000); //priority 1
NVIC_ST_CTRL_R = 0x0007; //Enable SysTick with core clock and interrupts

```

Existeixen altres *timers*. S'enumeren a continuació:

1. Temporitzadors de propòsit general (GPT): 6x 16/32 bits i 6x 32/64 bits. Es poden emprar per generar interrupcions periòdiques, senyals PWM o capturar estats als inputs.
2. Temporitzador de mostres del Convertidor Analògic a Digital (ADC): L'ADC dins del TM4C123 compta amb un temporitzador dedicat que es pot emprar per activar conversions ADC en intervals precisos. Així s'aconsegueix un mostreig de senyals analògiques a freqüència constant, o es sincronitzen les conversions ADC amb perifèrics del sistema.
3. Temporitzador Watchdog (WDT): Els watchdogs *timers* es poden fer servir per reiniciar el microprocessador en cas de fallada de software. No els farem servir.

2.1.3. UARTs del TM4C123GXL.

Dins de les plaques TM4C123 s'inclouen 8 transmissors/receptors asíncrons universals (UART) [9]. Aquests s'empren per comunicació serial entre el microcontrolador i altres aparells. Una UART és un perifèric que converteix dades en paral·lel en fluxos de dades en sèrie per transmetre-les en un canal de comunicació. Les principals funcions de les UART són les següents [3]:

1. Generador de *Baud Rate*: Tenen un rang de fins a 5 Mbps.
2. Configuració de diversos formats de transmissió de dades (número de bits de dades, bits d'aturada i bits de paritat).
3. Interrupcions: Es poden generar interrupcions a diversos esdeveniments, com ara una recepció de nova informació o final de comunicació. Transmissor (TX) i receptor (RX) separats per reduir l'ús d'interrupcions per la CPU.
4. Control de flux entre hardware per prevenir pèrdua de dades o generació d'errors per comunicació serial.
5. Accés a memòria directa (DMA). Ajuda a alliberar el processador de càrrega de feina.

A continuació s'adjunta l'activació de la UART0. Notis com de la mateixa manera en que s'emprava el fitxer tm4c123gh6pm.h per a simplificar la codificació amb interrupcions, es fa servir el fitxer **UART.h**:

```
#include "UART.h"

//-----UART_Init-----
// Initialize the UART for 115200 baud rate (assuming 80 MHz UART clock),
// 8 bit word length, no parity bits, one stop bit, FIFOs enabled
// Input: none
// Output: none
void UART_Init(void){
    SYSCCTL_RCGC1_R |= SYSCCTL_RCGC1_UART0; // activate UART0
    SYSCCTL_RCGC2_R |= SYSCCTL_RCGC2_GPIOA; // activate port A
    UART0_CTL_R &= ~UART_CTL_UARTEN; // disable UART
    UART0_IBRD_R = 43; // IBRD = int(80,000,000 / (16 * 115200)) = int(43.402778)
    UART0_FBRD_R = 26; // FBRD = round(0.402778 * 64) = 26
    // 8 bit word length (no parity bits, one stop bit, FIFOs)

    UART0_LCRH_R = (UART_LCRH_WLEN_8|UART_LCRH_FEN);
    UART0_CTL_R |= UART_CTL_UARTEN; // enable UART
    GPIO_PORTA_AFSEL_R |= 0x03; // enable alt funct on PA1,PA0
    GPIO_PORTA_DEN_R |= 0x03; // enable digital I/O on PA1,PA0
    // configure PA1,PA0 as UART0

    GPIO_PORTA_PCTL_R = (GPIO_PORTA_PCTL_R&0xFFFFF00)+0x00000011;
    GPIO_PORTA_AMSEL_R &= ~0x03; // disable analog functionality on PA1,PA0
}

```

A continuació s'adjunten diferents instruccions d'interès:

```
//-----UART_OutChar-----
// Output 8-bit to serial port
// Input: letter is an 8-bit ASCII character to be transferred
// Output: none
void UART_OutChar(unsigned char data){
    while((UART0_FR_R&UART_FR_TXFF) != 0);
    UART0_DR_R = data;
}

//-----UART_InChar-----
// Wait for new serial port input
// Input: none
// Output: ASCII code for key typed
unsigned char UART_InChar(void){
    while((UART0_FR_R&UART_FR_RXFE) != 0);
    return((unsigned char)(UART0_DR_R&0xFF));
}

//-----UART_InCharNonBlocking-----
// Get oldest serial port input and return immediately
// if there is no data.
// Input: none
// Output: ASCII code for key typed or 0 if no character
unsigned char UART_InCharNonBlocking(void){
    if((UART0_FR_R&UART_FR_RXFE) == 0){
        return((unsigned char)(UART0_DR_R&0xFF));
    } else{
        return 0;
    }
}

```

2.1.4. GPIO del TM4C123GXL.

A la família de plaques TM4C123 existeix un mòdul de 6 blocs GPIO (*General-Purpose Input/Output*) per configuració dels pins de la placa de desenvolupament [3].

- Els pins es poden usar com a GPIO o com a funció de perifèrics interns a la placa
- Tolerància de 5V d'entrada
- Capacitat de canviar la sortida dels pins cada pas de rellotge per a pins AHB i cada dos passos per a pins APB
- Es poden fer servir per a interrupcions
- Emmascarat de bits en lectura i escriptura
- Es conserva l'estat dels pins durant hibernació de la placa
- Per als pins GPIO:
 - 1) Resistències de Pull-up o pull-down
 - 2) De 2 mA a 18 mA d'input depenen del PIN.

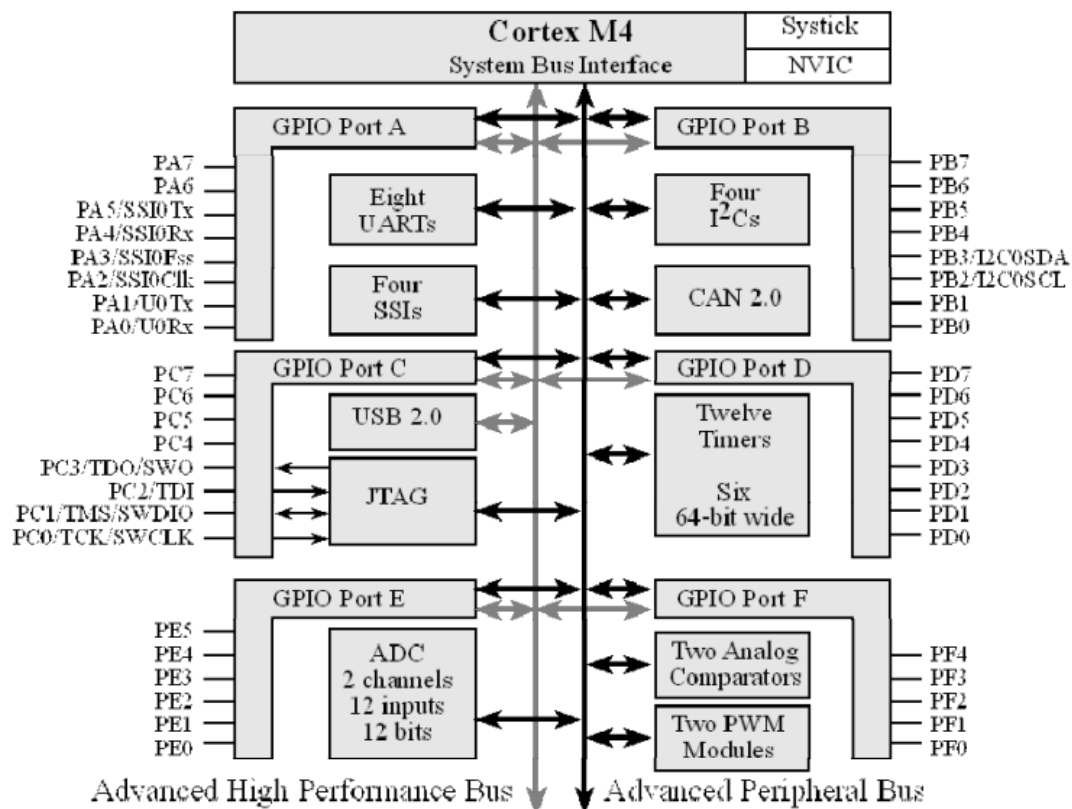


Figura 2.1.4.1. Configuració dels pins dins TM4C123GH6PM.

Cada pin té un bit de configuració dins el registre GPIOAMSEL (Selecció de mode analògic), 4 bits per el registre GPIOPCTL (Selecció de funció alternativa de pin), 1 bit per al DEN (Selecció de mode digital) i 1 bit AFSEL (Activació funció alternativa de pin) [10].

Abans de configurar cap pin s'ha d'encendre el rellotge per als ports que s'empraran. Això es fa amb la següent instrucció:

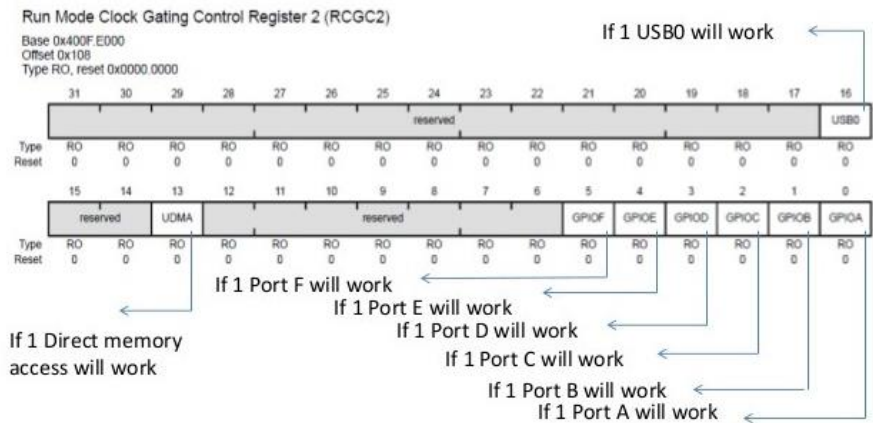


Figura 2.1.4.2. Utilització de la instrucció RCGC2.

La configuració dels pins més importants per el GPIO són les següents: DIR_R requereix un bit per a especificar si el pin és entrada o sortida. PUR_R especifica si es posa una resistència Pull-up d'entrada al pin. PDR_R marca si es posa una resistència Pull-Down d'entrada al pin. RCGCGPIO_R permet el rellotge. LOCK_R és necessari per desbloquejar ports (només necessaris per als pins PD7 i PF0. CR_R és per evitar escriptura dels ports PGIOAFSEL, GPIOPUR, GPIOPDR o GPIODEN. Notis que cada instrucció definint la configuració d'un pin compta amb una adreça a memòria diferent.

2.2. Programació en C.

C és el llenguatge per a programació de sistemes *embedded* més emprat actualment. Es tracta d'un llenguatge estructurat, per lo que és important seguir un petit assortir d'estructures estàndard i anar desenvolupant a partir d'aquestes.

Per tal de dissenyar una aplicació en llenguatge C, es poden fer servir diversos mètodes. Els més emprats son els diagrames de blocs o el pseudo-codi simplificat.

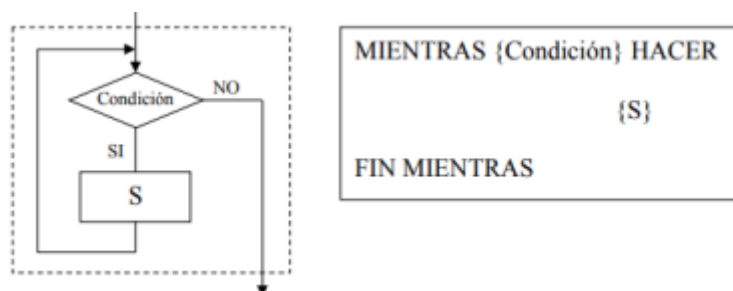


Figura 2.2.1. Exemple de pseudo-codi i diagrama de blocs per a una estructura iterativa.

Per a emprar un codi en C dins d'un microprocessador es necessiten diversos agents. Aquests són [11]:

- Un compilador com a sistema de software que converteix llenguatge d'alt nivell (llegible per humans) a codi objecte (llegible per la màquina). Això força a que per a canviar el software s'ha de canviar el codi base i re-compilar.
- Un assemblador que converteix el codi *assembly* (llegible per humans) a codi objecte (llegible per la màquina).
- Un interpretador que executa el programa d'alt nivell. Més interactiu i lent que el codi compilat. Existeixen diversos llenguatges d'alt nivell que poden ser interpretats (BASIC n'és un exemple).
- Un *linker* treballa per connectar diversos fragments de software.
- Un *loader* porta el codi objecte dins la memòria ROM del xip.

L'organització del codi en C es realitza per caràcters, no salts de línia:

<i>Punctuation</i>	<i>Meaning</i>
;	End of statement
:	Defines a label
,	Separates elements of a list
()	Start and end of a parameter list
{ }	Start and stop of a compound statement
[]	Start and stop of a array index
" "	Start and stop of a string
' '	Start and stop of a character constant

Taula 2.2.1. Caràcters d'inici i fi de declaracions en C.

Els codis en C es poden dividir en 4 seccions. La primera per a documentació, la segona per a directives a pre-processar (amb # a l'inici), la tercera per a declaració de variables globals i l'última per les funcions del programa. Les funcions poden ser declarades, només especificant el seu nom, paràmetres d'entrada i de sortida o es poden definir amb la seqüència exacta d'execució que seguirà. Una funció es pot cridar abans de definir si abans de tot s'ha declarat.

Les variables poden ser globals (definides en el present codi) o bé externes (d'altres codis). Les que es declaren dins una funció són anomenades locals i només es poden emprar dins la dita funció. Notis que només pot existir una funció `main()` que defineix a on comença l'execució del programa.

Els tipus de data a C i els caràcters especials són els següents:

Data type	Precision	Range
unsigned char	8-bit unsigned	0 to +255
signed char	8-bit signed	-128 to +127
unsigned int	compiler-dependent	
int	compiler-dependent	
unsigned short	16-bit unsigned	0 to +65535
short	16-bit signed	-32768 to +32767
unsigned long	unsigned 32-bit	0 to 4294967295L
long	signed 32-bit	-2147483648L to 2147483647L
float	32-bit float	±10 ⁻³⁸ to ±10 ⁺³⁸
double	64-bit float	±10 ⁻³⁰⁸ to ±10 ⁺³⁰⁸

Taula 2.2.2. Tipus de dades en C.

Operation	Meaning	Operation	Meaning
=	Assignment statement	==	Equal to comparison
?	Selection	<=	Less than or equal to
<	Less than	>=	Greater than or equal to
>	Greater than	!=	Not equal to
!	Logical not (true to false, false to true)	<<	Shift left
~	1's complement	>>	Shift right
+	Addition	++	Increment
-	Subtraction	--	Decrement
*	Multiply or pointer reference	&&	Boolean and
/	Divide		Boolean or
%	Modulo, division remainder	+=	Add value to
	Logical or	-=	Subtract value to
&	Logical and, or address of	*=	Multiply value to
^	Logical exclusive or	/=	Divide value to
.	Used to access parts of a structure	=	Or value to
		&=	And value to
		^=	Exclusive or value to
		<<=	Shift value left
		>>=	Shift value right
		%=	Modulo divide value to
		->	Pointer to a structure

Taula 2.2.3. Caràcters especials en C.

Dintre dels condicionals a emprar existeix el `if`, `elif`, `else`, `while`, `switch` (`case`) i `for`. La paraula *volatile* es fa servir per a variables que necessiten de noves variables cada cop que són cridades (p.ex. ports I/O). Els apòstrofs ('') es fan servir per caràcters i les cites ("Hello World") per *strings*.

2.3. Pràctiques de laboratori d'en J. Valvano.

Les pràctiques realitzades a l'assignatura de Microprocessadors del grau d'EEIA del Tecnocampus són derivades de la feina del professor J. Valvano de la universitat de Texas, Austin. Aquestes ensenyen a l'estudiant a programar plaques de microprocessadors TM4C basades en ARM per l'empresa Texas Instruments.

J. Valvano és un professor amb més de 40 dècades d'experiència en la docència i que ha publicat 10 llibres sobre sistemes integrats (*embedded Systems*), 7 d'ells dedicats a l'arquitectura ARM. Un dels seus camps de recerca es concentra en la divulgació i ensenyança del disseny i programació de microprocessadors. En aquesta línia va crear diversos *labs* com a pràctiques per ensenyar els seus estudiants a controlar microprocessadors de la família TM4C [12].

La primera sessió de laboratori (o com a deures portats de casa) es comença tot instal·lant el software Keil uVision, que és l'IDE genèric emprat per la programació de la placa. Posteriorment s'instal·len els controladors *Stellaris* de la placa i s'integren al Windows de l'ordinador on es programarà. És important mencionar que és en aquest punt que es descarrega i integra el *Grader* (o avaluador) al Keil uVision per poder fer ús de l'avaluació de les pràctiques sense hardware, només a través de software. En aquesta primera sessió es fa córrer un programa (LAB2. HelloLaunchPad) per comprovar el bon funcionament de la placa i una correcta connectivitat amb l'ordinador.

En dates posteriors es realitza tot un seguit de pràctiques (una per classe de laboratori). A continuació es presenta la llista de totes elles, la seva descripció i ús de hardware [13].

2.3.1. LAB4. Switches and LEDs.

Aquesta pràctica es fa només amb el microcontrolador si es fa amb la modalitat de *Grader* o, si es vol fer mitjançant hardware, amb 2 entrades a 2 interruptors i 3 sortides a un LED multicolor. Està feta sobretot per aprendre el procés de *debuggar* la placa i a controlar el mòdul GPIO. Per realitzar aquesta pràctica no fa falta el *boostpack* ja que es realitza sobre el *launchpad* directament al emprar hardware exclusiu d'aquest.

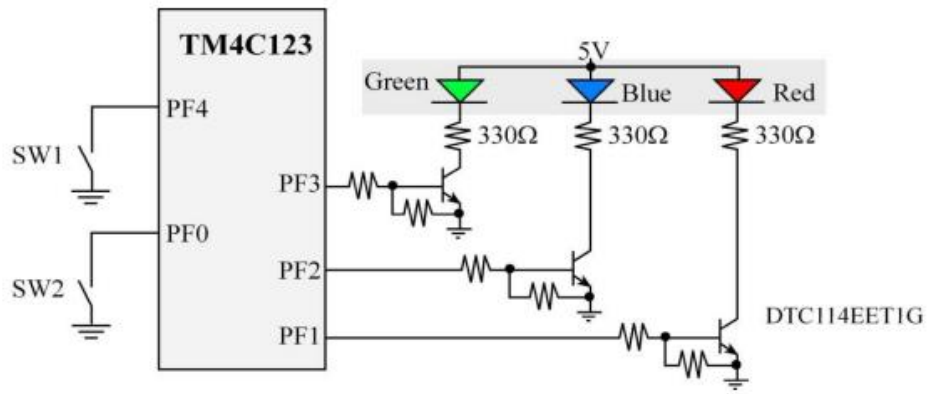


Figura 2.3.1.1. Connexionat Hardware del lab4.

Els requeriments per donar per bona la pràctica són els següents:

LAB4	
Estat dels Interruptors	Sortida LED
SW1 & SW2	Color Blau
SW1	Color Vermell
SW2	Color Verd
Cap	Apagat

Taula 2.3.1.1. Requeriments per passar el lab4.

2.3.2. LAB5. C Functions.

Aquesta pràctica consisteix en programar una funció que accepti dos paràmetres (llargada i amplada) i calculi l'àrea del rectangle resultant. A això se li afegeix que només es realitza el càlcul si tant la llargada i l'amplada es troben entre els 3 i 20 metres, sinó retorna 0. És aprendre a fer funcions condicionals amb C i no s'incorpora al *boosterpack* ja que és feina de software.

La comprovació per part de l'estudiant ha de ser feta per ell mateix. Si es vol comprovar per hardware, s'incorpora per primera vegada l'aplicació TExaSDisplay, per visualització del port sèrie.

2.3.3. LAB6. Branching functions and delays.

Com l'anterior pràctica, està pensada per aprendre a programar estructures simples en C. A més s'incorpora l'estimació de quan temps es trigarà a completar un programa i crear una funció de retard en base al dit temps.

Els requeriments de hardware són un SW1 connectat a PF4 amb lògica inversa i un LED blau connectat a PF2. Bàsicament el funcionament es resumeix en que quan no es prem el SW1, el LED blau està apagat. Si el SW1 està premut, l'estat del LED ha de canviar cada 100 ms (s'incorpora rellotge).

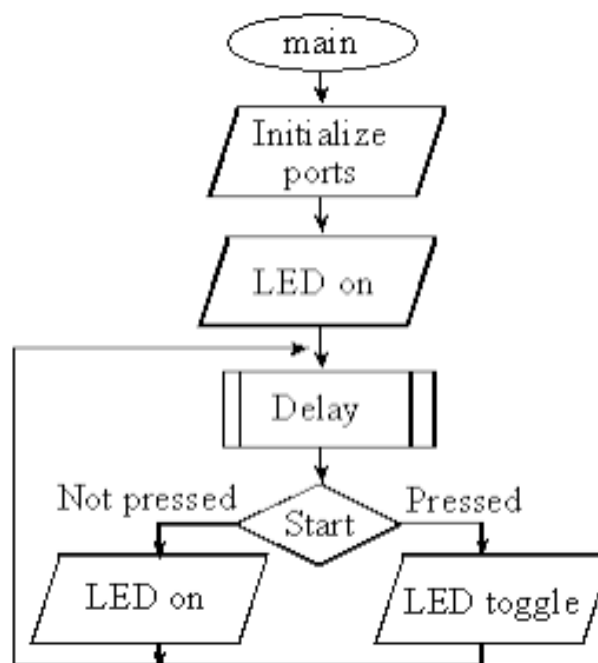


Figura 2.3.3.1. Flowchart del laboratori 6.

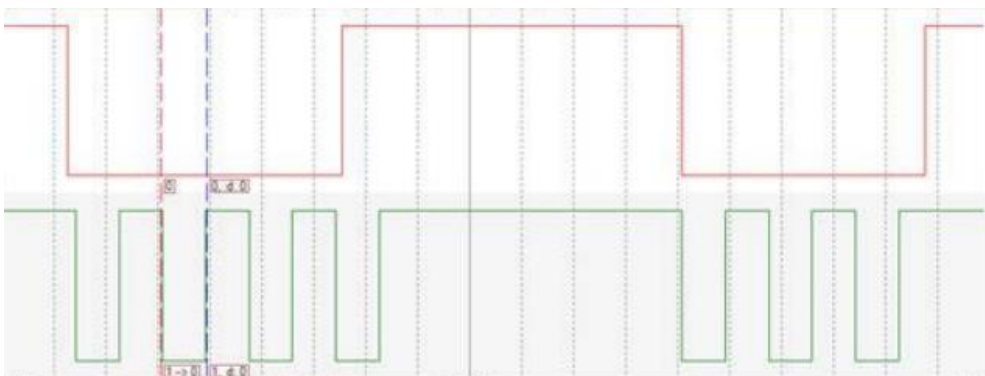


Figura 2.3.3.2. Validació del lab 6 a partir de l'oscil·loscopi del Keil uVision.

2.3.4. LAB7. HeartBlock.

Aquesta pràctica tracta sobre programar un marca passos. Hi ha 1 input, l'AS (Sensor arterial a PF4) i 2 outputs (*Ready* a PF3 i Disparador ventricular a PF1).

El funcionament és un bucle infinit de les següents instruccions:

1. *Ready* a 1
2. Esperar que AS es posi a 0 (provocat per pressió al SW1)
3. Posar *Ready* a 0
4. Esperar 10 ms
5. Esperar que AS es posi a 1 (provocat per l'alliberament del SW1)
6. Esperar 250 ms
7. Posar VT a 1
8. Esperar 250 ms
9. Posar VT a 0

El hardware emprat per a la pràctica és l'inclòs dins la pròpia placa de desenvolupament (SW1 a PF4 i LEDs a PF3 i PF1).

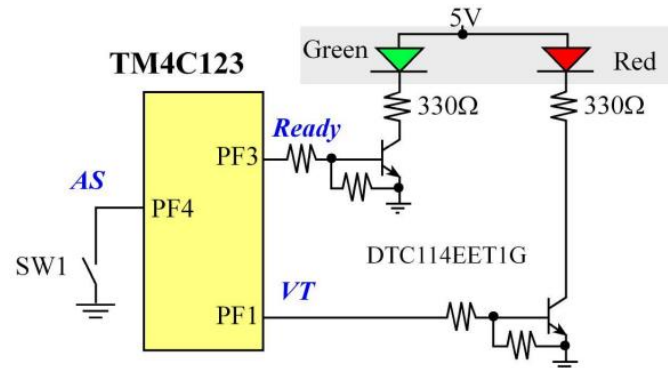


Figura 2.3.4.1. Hardware emprat dins el lab7.

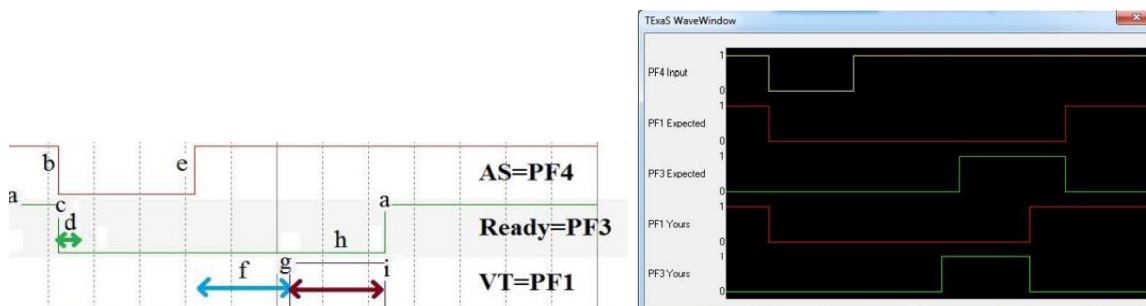


Figura 2.3.4.2. Simulador i oscil·loscopi de Keil uVision.

2.3.5. LAB8. Switch LED interface.

Aquesta pràctica està pensada per a aprendre a fer anar el hardware real intern i extern de la placa. Es pot dir que és com la pràctica 6 però pensada per a que l'alumne aprengui a connectar els LEDs (amb polaritat adient), amb els corresponents resistors al pin de sortida de la placa PE1 (sense Pull-up resistor ja que ja s'implementa sobre la *breadboard*). L'altre diferència amb el *lab6* és que si es prem el SW1 ara el LED farà pampallugues cada 100 ms (freqüència de 5 Hz).

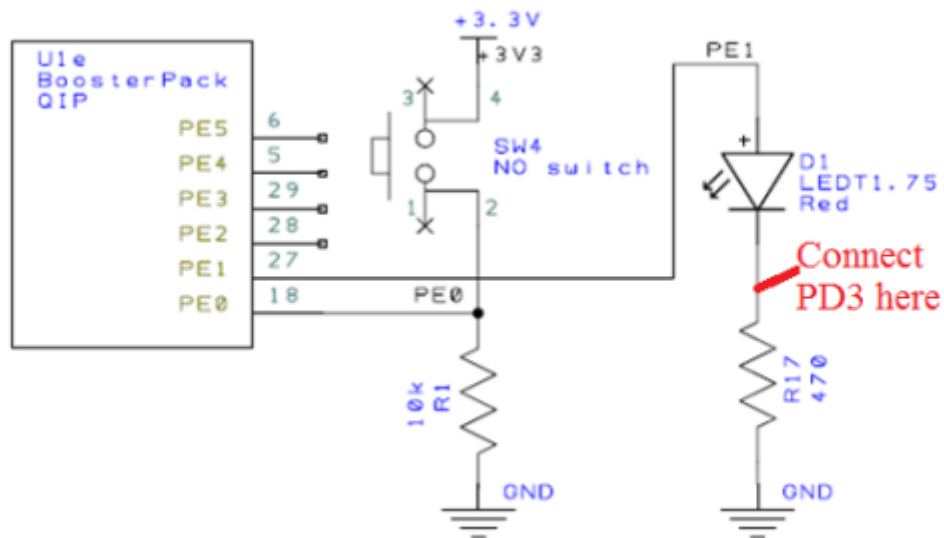


Figura 2.3.5. Connexionat del hardware del *lab8*.

2.3.6. LAB9. Functional Debugging.

Aquesta pràctica està pensada per a que l'alumne aprengui a fer anar els endarreriments de temps, matrius i *debugging* funcional.

L'objectiu és el següent:

1. Fer pampallugues a 10Hz al LED si SW1 XOR SW2 està premut.
2. Registrar canvis als bits 4,1 i 0 del port F cada vegada que l'input o l'output canvia per poder visualitzar els dits canvis amb el *debugger*.

El hardware extern a emprar consisteix en una entrada amb SW1 a PF4, una altra amb SW2 a PF0 i una sortida d'un LED a PF1.

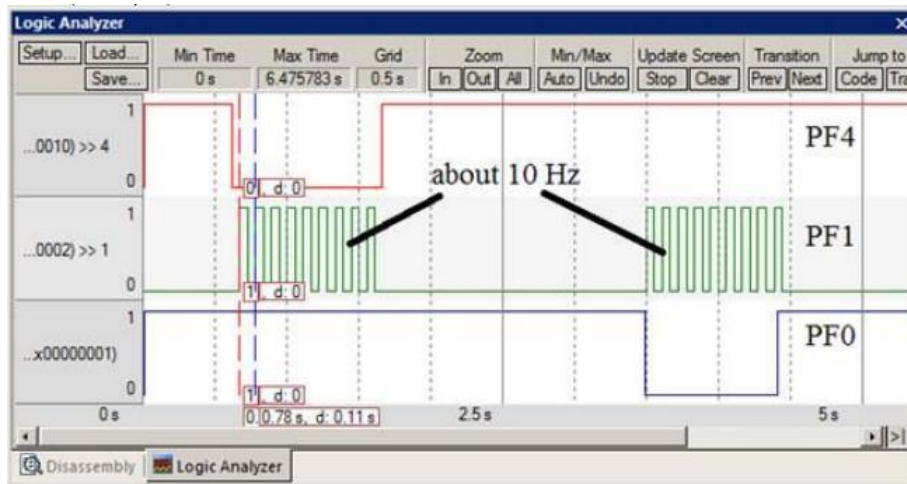


Figura 2.3.6.1. *Logic Analyzer* al final del laboratori.

2.3.7. LAB10. Traffic Light.

La pràctica de laboratori 10 consisteix en aprendre a fer anar el codi com una màquina d'estats finits. S'aprèn a realitzar estructures de dades indexades, un sistema de software segmentat i sincronització en temps real. Els endarreriments es fan amb el comptador SysTick.

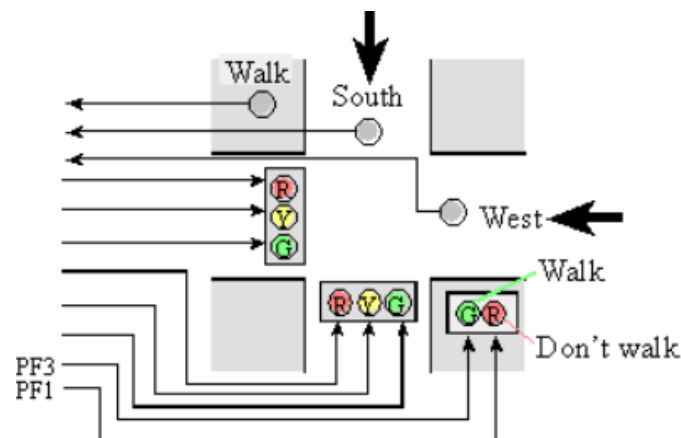


Figura 2.3.7.1. Esquemàtica teòrica de l'anunciat del laboratori 10.

Les instruccions a seguir són les següents:

- 1) No permetre que els cotxes xoquin entre ells. Això vol dir que mai hi pot haver un verd o groc en una carretera al mateix temps que un verd o groc a l'altra carretera. Els enginyers no volen que la gent prengui mal.
- 2) No permetre que els vianants caminin mentre hi hagi cotxes. Això vol dir que mai hi pot haver un verd o groc a qualsevol de les carreteres al mateix temps que un llum de "caminar". A

més, mai no hi pot haver un verd o groc a qualsevol de les carreteres alhora que pampalluga la llum de "no caminar". Si hi ha una llum verda activa en un de les carreteres, el "no caminar" hauria de ser vermell continu. Els enginyers no volen que la gent es faci mal.

3) Si només el sensor sud està actiu (sense caminar i cap sensor oest), els llums s'han d'ajustar perquè el sud tingui un llum verda en 5 segons (aquest valor és poc realista, però fa que l'avaluació sigui més ràpida). La llum del sud ha de romandre verda mentre només estigui actiu el sensor sud.

4) Si només el sensor de l'oest està actiu (sense caminar i no cap sensor sud), els llums s'han d'ajustar perquè l'oest tingui un llum verda en 5 segons. La llum de l'oest ha de romandre verda mentre estigui actiu només el sensor de l'oest.

5) Si només el sensor de caminar està actiu (ni cap a l'oest ni cap al sud), els llums s'han d'ajustar de manera que la llum de "caminar" sigui verd en 5 segons. La llum de "caminar" ha de romandre verda mentre només estigui actiu el sensor de caminada.

6) Si els tres sensors estan actius, els llums haurien d'anar en un patró circular en qualsevol ordre amb la llum de l'oest verda, la llum del sud verda i la llum de "caminar" verda, en aquest ordre. Per descomptat, els semàfors de la carretera han de passar de ser de color verd groc-vermell cada vegada. El hardware que es fa servir compta amb 6 LEDs i 3 *switchs*.

A partir d'aquestes instruccions s'ha de realitzar un diagrama de màquina d'estats finits i implementar-ho a codi fent servir les estructures noves apreses durant les classes de teoria.

La configuració hardware és la següent:

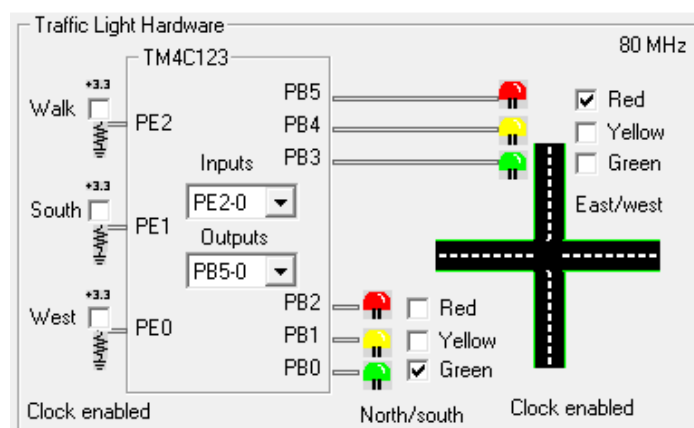


Figura 2.3.7.2. Disposició Hardware al laboratori 10.

Notis que la configuració hardware dels *switches* és variable i mentre que a dalt apareix com a PE2, PE1 i PE0, també es pot configurar de les següents maneres.

Red east/west	PA7	PB5	PE5				
Yellow east/west	PA6	PB4	PE4				
Green east/west	PA5	PB3	PE3				
Red north/south	PA4	PB2	PE2	Walk sensor	PA4	PB2	PE2
Yellow north/south	PA3	PB1	PE1	North/south sensor	PA3	PB1	PE1
Green north/south	PA2	PB0	PE0	East/west sensor	PA2	PB0	PE0

Taula 2.3.7.1. Selecció de les diferents entrades i sortides de la pràctica 10.

2.3.8. LAB11. UART.

Durant aquesta pràctica s'aprèn a fer servir els mòduls UART de la placa de desenvolupament. Gràcies a aquest mòdul i a l'aplicació TExaSdisplay es pot realitzar comunicació sèrie del processador amb l'ordinador.

El codi consisteix en presentar output a l'ordinador i a passar de números a *strings* amb l'ajuda dels documents **UART.h** i **UART.c**. S'implementa per passos per simplificar i entendre la funció de transformació i anar-la complicant progressivament.

Parameter	UART display
0	" 0 "
10	" 10 "
999	" 999 "
1000	"1000 "
9999	"9999 "
10000 or more	"***** "

Taula 2.3.8.1. Primera funció per passar de números a *strings* al *lab11*.

Un cop es té, es crea una altra funció per a passar de números a *strings* amb unitats.

Parameter	UART display
0	"0.000 cm"
1	"0.001 cm"
999	"0.999 cm"
1000	"1.000 cm"
9999	"9.999 cm"
10000 or more	"*.*** cm"

Taula 2.3.8.2. Segona funció per passar de números a *strings* amb unitat al *lab11*.

No es requereix hardware per a aquest laboratori i per tant no afecta al *boosterpack*.

2.3.9. LAB12. Tuning Fork.

Amb aquesta pràctica es busca crear una senyal quadrada de 440 Hz (freqüència estàndard) per a afinar instruments gràcies a un afinador de metall. Normalment es faria per a uns audíofons o un altaveu, però per a simplificar es fa sobre un *buzzer* (o bronzidor) que sona com una sirena. La connexió de hardware és la següent (inclou un resistor i un interruptor):

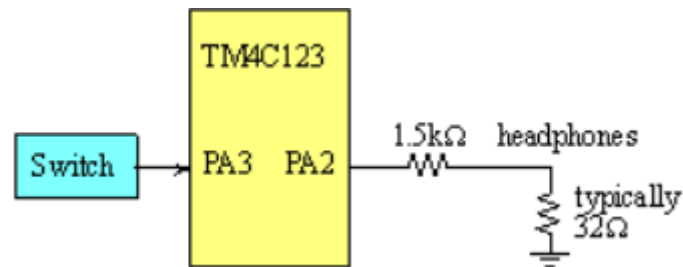


Figura 2.3.9.1. Connexió hardware del lab12.

Mitjançant càlcul de potència s'ha de procurar no fer passar la potència dissipada per el *buzzer* en més d'1mW. La sortida hauria de veure's així amb el botó (PA3) premut:

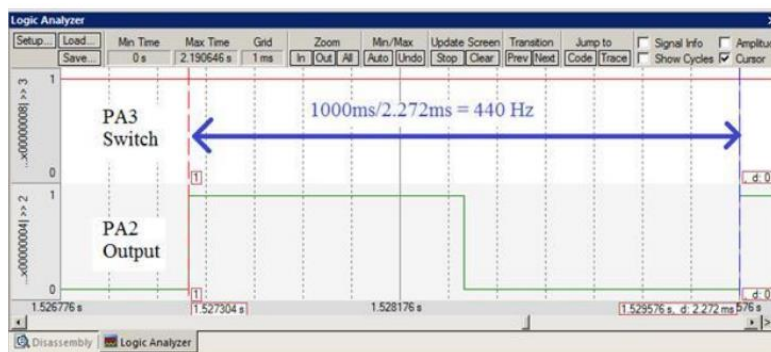


Figura 2.3.9.2. Sortida de la placa al lab12.

2.3.10. LAB13. DAC.

Aquesta pràctica de laboratori està pensada per aprendre a utilitzar el DAC de la placa. Amb ell, es busca crear sons per a un altaveu i estudiar com es pot combinar amb interrupcions per a generar diverses notes musicals, cadascuna amb la seva respectiva freqüència.

La configuració de hardware de la pràctica compta amb el bit 1 (pin E0) activat, s'ha de treure una senyal analògica de C0 (523,251 Hz), si és al bit 2 (pin E1), s'ha de treure una senyal analògica corresponent a la nota musical de D (587,330 Hz), si és al bit 3 (pin E2), s'ha de treure una senyal analògica corresponent a la nota musical de E (659,255 Hz) i si és al bit 4 (pin

E3), s'ha de treure la senyal analògica corresponent a la nota musical de G (783,991 Hz). Notis que aquesta sortida analògica no es realitza amb una senyal oscil·lant perfecta, sinó que es fa servir una aproximació per 32 punts gràcies al DAC del *launchpad*:

```

wave[32] = {
    8,9,11,12,13,14,14,15,15,15,14,14,13,
    12,11,9,8,7,5,4,3,2,2,1,1,1,2,2,3,4,5,7
};

```

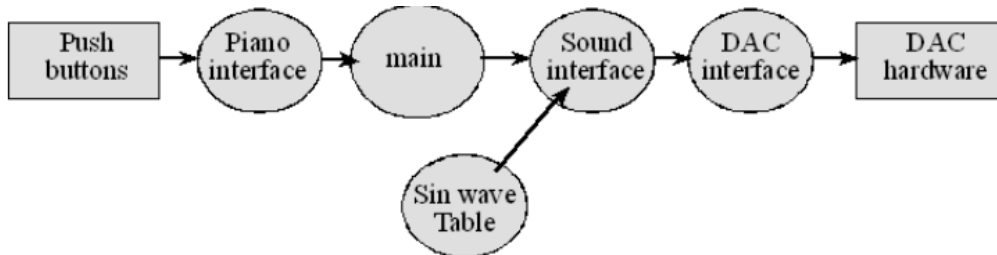


Figura 2.3.10. Flow de dades del laboratori 13.

Es fan servir 3 documents dins del projecte, per dividir per funcionalitats. Tenen la següent relació:

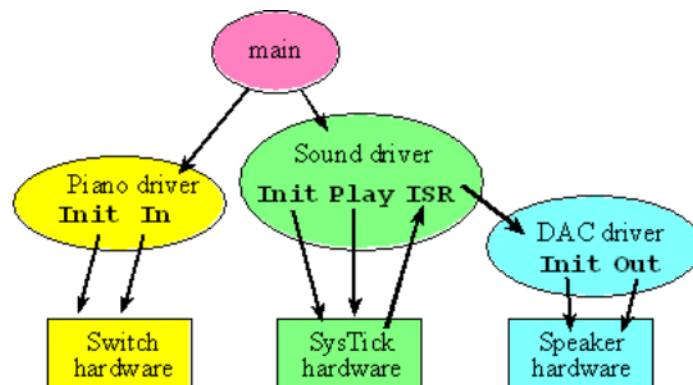


Figura 2.3.10.2. Divisió del laboratori 13 en diferents arxius.

2.3.11. LAB14. ADC i adquisició de dades / Distància.

En aquesta pràctica es fa servir un potenciòmetre lineal extern al *launchpad* per, a partir del valor de la resistència observat, imprimir a pantalla el dit valor. És la primera pràctica que incorpora l'ús de la pantalla Nokia 5110.

Es busca aprendre: 1) A introduir el mostreig de senyals analògiques amb ADC (l'integrat a la placa). 2) Controlador d'ADC. 3) Conversió de dades i tècniques de calibratge. 4) L'ús de

nombres de punt fix. 5) Desenvolupament d'un programa que agafi mostres a partir d'interrupcions cada 25 ms. 6) Integració de múltiples fitxers. 7) *Debugger* 1 fitxer per vegada.

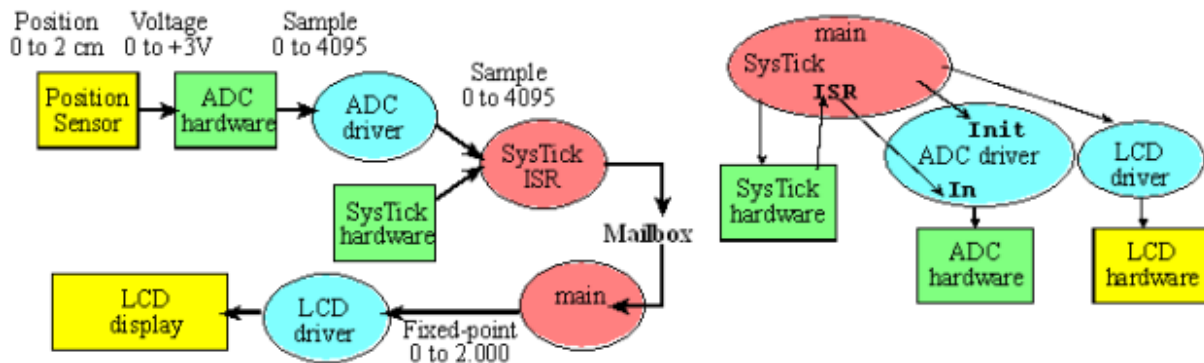


Figura 2.3.11.1. Diagrama de funcionament del laboratori 14.

Primer de tot es realitza un calibratge del potenciòmetre. Al ser lineal es “modelitza” amb una equació lineal a partir de les mesures de voltatge segons la posició del cursor. Per mesurar es fa servir l'ADC amb una precisió de 0.001 cm.

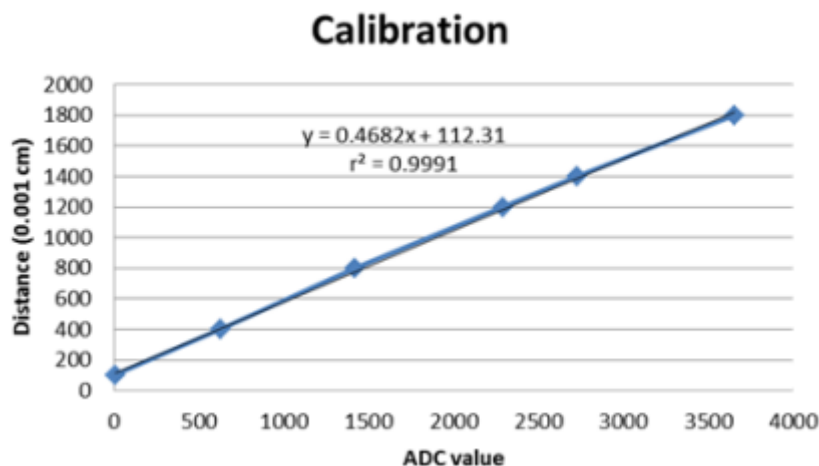


Figura 2.3.11.2. Exemple de relació lineal d'un potenciòmetre.

Les mesures es poden ensenyar a la UART fent servir **UART_OutString** o bé a la pantalla Nokia emprant **Nokia_OutString**. Després de realitzar els càlculs hauria de sortir una linealitat de més de $r^2=0,96$.

Es recomana posar l'entrada d'ADC a PE2. El pseudo-codi és el següent:

Per l'ISR de SysTick:

1. Invertir PF1

2. Invertir PF1 altra vegada
3. Mesurar l'ADC, tot cridant ADC0_In()
4. Convertir el voltatge mesurat a distància, cridant el Convert(), i guardant els resultats a variable global.
5. Posar la *flag* a 1, volent dir que una nova dada està preparada.
6. Invertir PF1 per tercera vegada.

El programa principal és el següent:

1. Activar TExaS_Init()
2. Activar l'ADC, tot cridant ADC0_In()
3. Opcional: Activar algun de les dues pantalles:
 - a. Nokia5110_Init()
 - b. UART0_Init()
4. Configurar SysTick per a que vagi a 40 Hz.
5. Configurar PF1 com una sortida GPIO regular.
6. Activar interrupcions.
7. Dins un bucle infinit:
 - a. Netejar *flag* a 0.
 - b. Esperar que la *flag* torni a estar a 1.
 - c. Convertir la distància a *string*, tot cridant UART_ConvertDistance()
 - d. Opcional: Ensenyar el resultat a alguna de les dues pantalles:
 - i. Nokia5110 SetCursor(0,0); Nokia5110 OutString(String);
 - ii. UART OutString(String); UART OutChar('\n'),

La comprovació del laboratori es pot realitzar a mà, introduint valors de distància *debuggant* el programa sense hardware o bé amb la placa real i veient els resultats en pantalla.

2.3.12. LAB15. Space Invaders.

Aquesta pràctica final (pel que fa a l'assignatura de Microcontroladors) és la més completa i fa servir codi complex brindat per el professor i l'estudiant s'encarrega de lligar-lo i provar-lo sobre la placa.

El videojoc Space invaders és un videojoc dissenyat al Japó l'any 1978 que s'ha convertit amb el pas del temps amb un autèntic clàssic [14]. Va ser un precursor dels videojocs moderns i va

ajudar a expandir la indústria del sector corrent amb unes especificacions mínimes (sobre un xip Intel 8080).

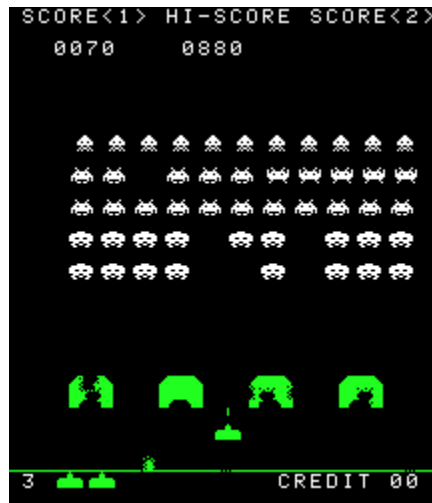


Figura 2.3.12.1. Captura de pantalla del videojoc *Space Invaders*.

Els objectius principals del *lab* són els següents:

1. Aprendre disseny modular per posar els diferents components d'una classe en un sol sistema.
2. El desenvolupament d'una segona ISR, tot creat 3 fils.
3. Representació i manipulació d'imatges com imatges en 2-D.
4. Disseny, test i *debugatge* d'un programa gran en C.
5. Revisió dels ports d'entrada i sortida amb tècniques d'interfície usades a classe.

Els requeriments i especificacions de hardware són les següents:

- S'ha de copiar i enganxar el codi en C dins de l'arxiu de laboratori `SpaceInvaders.c` dins del projecte `Lab15_SpaceInvaders` fent servir els fitxers adjunts que venen de sèrie. S'haurà d'emprar com a *display* el simulador, la pantalla Nokia5110 real o la pantalla virtual de Nokia (UART+TEaSdisplay).
- Dins del límit gratuït de 32kB de codi del Keil. El codi d'inici ja n'ocupa un 28%.
- El potenciòmetre lineal ha d'estar muntat a PE2/AIN1
- 2 botons han d'estar connectats a PE1 i PE0.
- 2 LEDs han d'estar connectats a PB5 i PB4.
- El DAC de 4 bits ha d'estar connectat a PB3-0.
- Si s'empra la pantalla Nokia5110 real, s'ha de connectar a PA7, PA6, PA5, PA3 i PA2.

- Si s'utilitza la pantalla Nokia5110 virtual, s'ha de fer servir TExaSdisplay v.1.08 o més actual.
- Interrupcions al DAC a 11 kHz per fer sons.
- Interrupcions al ADC a 30 Hz.
- Entrada amb interruptor (SW).
- Sortida a LED.
- Les següents connexions al Nokia5110 (si es fa servir):

LaunchPad	Nokia 5110
PA7 Reset	RST
PA3 SSIOFss	CE
PA6 Data/Command	DC
PA5 SSIOTx	Din
PA2 SSIOCLK	Clk
Power (3,3V)	Vcc
Not conected	BL (Back Light)
Ground (0V)	GND

Taula 2.3.12.1. Connexions entre pins entre el *launchpad* i la pantalla Nokia 5110.

Tal i com s'ha comentat anteriorment, aquest laboratori tracta més sobre la implementació del codi (que el professor ja dona mig fet) sobre la placa i la pantalla més que no pas la programació.

2.4. *Boosterpack* d'en Marc Vigatà per a Launchpad TIVA TM4C123G.

Per tal de realitzar una integració de la solució amb el *boosterpack* dissenyat per en Marc Vigatà al seu treball de final de grau, cal investigar les seves característiques.

La PCB de l'esmentat TFG crea un medi on connectar la placa de desenvolupament Tiva en format *plug-ang-play* i connectar els seus pins a diverses terminacions físiques. Això aconsegueix que es puguin provar sobre hardware totes les pràctiques de l'assignatura de microprocessadors del grau en EEIA [15].



Figura 2.4.1. *Boosterpack* d'en Marc Vigatà.

D'entre la documentació més important que presenta en Marc s'hi troba la següent informació, amb els errors (si es que se n'hi ha trobat) ressaltats.

Primer de tot es va realitzar una llista de components hardware necessaris per a les diverses pràctiques de laboratori. A partir d'aquesta llista es va realitzar el disseny del PCB amb el software Eagle d'Autodesk. Primerament es va generar les esquemàtiques, es va imprimir al Tecnocampus el primer prototip de PCB i finalment es va demanar prototips de PCB a la Xina a l'empresa Dirty PCBs. Al arribar es va poder observar com s'havien de realitzar una sèrie de modificacions a la PCB per que funcionessin totes les pràctiques. A la defensa del treball no es comptava amb el prototip definitiu així que es va soldar sobre una PCB sense actualitzar els nous components i es va deixar per un futur realitzar versions finals de les plaques. A continuació s'adjunten imatges de la PCB pilot presentada per en Marc Vigatà.

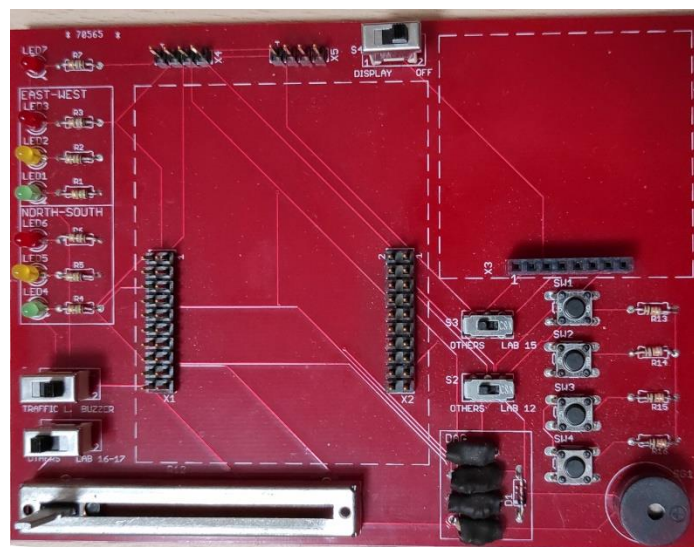


Figura 2.4.2. Placa Pilot presentada per en Marc Vigatà.

A cuita corrents es va canviar també el disseny de la PCB resultant en unes rutes a la PCB una mica enganxades (degut a l'eina *autorout*) però que malgrat tot no han donat problemes majors. Es pot observar com al lloc de les resistències 8, 9, 10 i 11 del *boostpack* pilot s'hi troben boles de goma termoretràctil on s'hi amaguen uns díodes (D1, D2, D3 i D4) soldats a última hora.

Finalment es van presentar a les esquemàtiques les dites modificacions per a realitzar al futur.

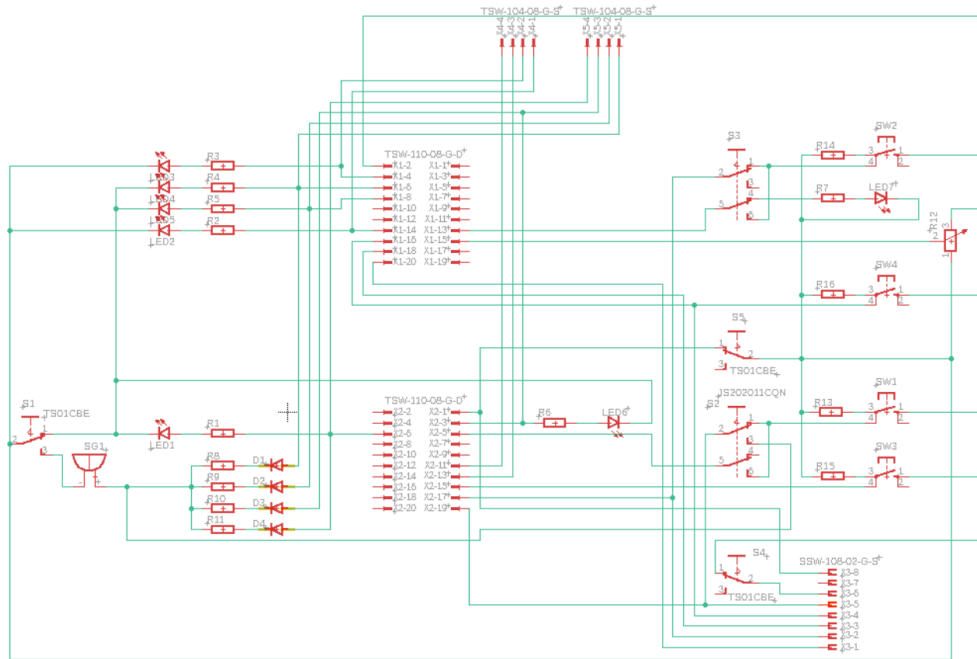


Figura 2.4.3. Esquemàtica definitiva PCB d'en Marc Vigatà.

Per a fer funcionar les diferents pràctiques s'han de posar els diferents interruptors en unes posicions concretes, aquestes són les següents. Notis com no s'inclouen tots els LABs, això es degut a que els LABS 6,7,9 i 11 no requereixen de hardware del *boostpack* per funcionar:

	LAB6	LAB7	LAB8	LAB10	LAB11	LAB12	LAB13	LAB14	MOTOR S
S1			-	T.LIGHT		BUZZER	BUZZER	-	-
S2			LAB12	OTHERS		LAB12	OTHERS	OTHERS	-
S3			OTHERS	OTHERS		OTHERS	OTHERS	LAB15	-
S4			OFF	OFF		OFF	OFF	DISPLAY	OFF
S5			OTHERS	OTHERS		OTHERS	OTHERS	OTHERS	LAB16-17

Taula 2.4.1. Posicions dels switches al *boostpack* per a cada pràctica.

Com a extra, s'indica que al laboratori 14 o sempre que es faci servir el *display* Nokia 5110 s'ha d'entrar dins el fitxer Nokia5110.c i modificar la línia de contrast amb un nou valor, el 0xA0 per tal que la pantalla es vegi bé. Si no es fa, s'obté una molt baixa lluminositat.

A continuació s'adjunta una taula dels components mesurats a la placa pilot de manera empírica:

Components	Observacions
S1	Switch 3 pins 2 posicions
S2	Switch 6 pins 2 posicions
S3	Switch 6 pins 2 posicions
S4	Switch 3 pins 2 posicions
S5	Switch 3 pins 2 posicions
SW1	Botó 4 pins 2 posicions
SW2	Botó 4 pins 2 posicions
SW3	Botó 4 pins 2 posicions
SW4	Botó 4 pins 2 posicions
SG1	Buzzer 2 pins
R1	149 Ohms
R2	154 Ohms
R3	177 Ohms
R4	148 Ohms
R5	147 Ohms
R6	177 Ohms
R7	178 Ohms
R8	81,7 Ohms
R9	38,9 Ohms
R10	18,4 Ohms
R11	10,3 Ohms
R12	9k Ohms potenciòmetre
R13	9,83 Ohms
R14	9,87 Ohms
R15	9,83 Ohms
R16	9,87 Ohms
Display	Nokia 5110
X1	20 pins 2 files connector
X2	20 pins 2 files connector
X3	8 pins 1 fila connector

Taula 2.4.2. Llista de components amb els seus valors mesurats.

Això contrasta amb el pressupost de material que va realitzar en Marc Vigatà ja que no s'ajusta als mateixos components. Un altre defecte de la llista de materials que es va realitzar es que ja compta amb més de 2 anys que han passat i ha pujat força els preus dels proveïdors:

Descripció	Referència RS-Online	Preu / unitat	Unitats	Preu
Samtec TSW-110-08-G-D	180-1946	2,92 €	2	5,84 €
Samtec SSW-108-02-G-S	765-5705	2,26 €	1	2,26 €
Samtec TSW-104-08-G-S	180-2217	0,16 €	2	0,31 €
Buzzer	511-7670	2,38 €	1	2,38 €
C&K TS01CBE	793-1790	3,85 €	3	11,55 €
C&K JS202011CQN	154-6136	0,36 €	2	0,73 €
OMRON B3F-1020	682-1131	0,31 €	4	1,23 €
Kingbright L-934SGD	247-1549	0,11 €	2	0,21 €
Kingbright L-934SYD	247-1555	0,23 €	2	0,45 €
Kingbright L-934ID	228-5916	0,14 €	3	0,42 €
ON Semiconductor 1N4148TR	671-5477	0,04 €	1	0,04 €
Res. 150ohm 5% 0.25W	135-796	0,02 €	4	0,07 €
Res. 180ohm 5% 0.25W	135-803	0,02 €	3	0,05 €
Res. 80ohm 0.1% 0.25W	754-6963	0,41 €	1	0,41 €
Res. 40ohm 0.1% 0.25W	754-5721	0,42 €	1	0,42 €
Res. 20ohm 0.1% 0.25W	754-8805	0,59 €	1	0,59 €
Res. 10ohm 0.1 % 0.25W	137-2768	0,42 €	1	0,42 €
Res. 10kohm 5% 0.25W	125-1153	0,06 €	4	0,22 €
Bourns PTA4543-2015DPB103	737-7789	1,23 €	1	1,23 €
Descripció	Proveïdor	Preu / unitat	Unitats	Preu
Fabricació PCB (10 unitats)	Dirty PCBs	40,00 €	0,1	4,00 €
Total Materials				32,84 €

Taula 2.4.3. Cost de materials presentat al TFG d'en Marc Vigatà.

Principalment, es pot observar com només apareix un díode (en lloc dels 4 que apareixen després de les modificacions), una resistència de 10k fixa que no es fa servir i després de comprovar la disponibilitat dels proveïdors s'ha vist que la resistència de 180 Ohms es troba sense stock així que s'ha hagut de canviar de proveïdor per una d'equivalent. Tot això fa pensar en que no es tracta de la llista de materials actualitzada i definitiva sinó de l'emprada a la placa pilot des d'un principi.

Per últim s'afegeix una taula amb les equivalències de pins escollits en els codis dels laboratoris i els pins del *launchpad*. De cara a que els alumnes programin les pràctiques, han de seguir la dita guia de pins per assegurar-se de que el *boostpack* funciona. Notis que s'ha creat des de 0 ja que en Marc Vigatà no la tenia present.

Laboratori	Components	Pins connectats	Mode
LAB8	SW1	PE0	Input
	LED7	PE1	Output
LAB10	SW1	PA2	Input
	SW2	PA3	Input
	SW3	PA4	Input
	RLED Built-in	PF1	Output
	GLED Built-in	PF3	Output
	LED1	PB3	Output
	LED2	PB4	Output
	LED3	PB5	Output
	LED4	PB0	Output
	LED5	PB1	Output
LED6	PB2	Output	
LAB12	SG1	PA2	Output
LAB13	SW1	PA2	Input
	SW2	PA3	Input
	SW3	PA4	Input
	R8 (80 Ohms) - SG1	PB0	Output
	R9 (40 Ohms) - SG1	PB1	Output
	R10 (20 Ohms) - SG1	PB2	Output
	R11 (10 Ohms) - SG1	PB3	Output
LAB14	R12 (pin 1)	3,3 V	-
	R12 (pin 2)	PE2	Input
	R13	GND	-

Taula 2.4.4. Equivalències pins del *launchpad* amb els components del *boosterpack*.

2.5. Nokia 5110.

La pantalla Nokia 5110 és un *display* LCD gràfic monocolor molt popular. Cèlebre per haver estat utilitzat en dispositius telefònics de la marca Nokia, actualment es fa servir com a pantalla connectada a microprocessadors per mostrar imatges, text i gràfics. Utilitza el controlador PCD8544, que consisteix en una solució simple i de baix cost per a la comunicació entre la pantalla en si i el microprocessador.



Figura 2.5.1. Nokia 5110 en una placa per desenvolupament.

Els pins del *display* estan pensats per a ser connectats als següents pins del *launchpad*:

Signal	PIN Nokia 5110	PIN TM4C123GXL
Reset (RST)	PIN 1	PA7
SSIOFss (CE)	PIN 2	PA3
Data/Command (DC)	PIN 3	PA6
SSI0Tx (Din)	PIN 4	PA5
SSI0Clk (Clk)	PIN 5	PA2
3,3V (Vcc)	PIN 6	3,3 V
back light (BL)	PIN 7	-
Ground (GND)	PIN 8	GND

Taula 2.5.1. Correspondència dels pins de la pantalla amb els pins de la placa.

Dins de l'arxiu *Nokia5110.c* es troben les funcions i instruccions necessàries per fer funcionar la pantalla. Les més importants serien els següents:

- *Nokia5110_Init()* que inicialitza la pantalla LCD de 48x48 tot enviant les instruccions necessàries al controlador PCD8544.
- *Nokia5110_OutChar(data)* que imprimeix un caràcter a pantalla a la posició del cursor actual i actualitza el cursor a una posició més. Notis com al LCD caben 12 caràcters per fila.
- *Nokia5110_OutString(*ptr)* imprimeix llista de caràcters a la pantalla.
- *Nokia5110_Clear()* neteja la pantalla de qualsevol caràcter.
- *Nokia5110_DrawFullImage(bitmapDe505bytes)* imprimeix a la pantalla imatge completa.
- *Nokia5110_SetPixel(x,y)* encén el píxel especificat amb coordenades.
- *Nokia5110_ClearPixel(x,y)* apaga el píxel especificat amb coordenades.

2.6. Legislació.

Dins de l'àmbit del projecte no entrarien en joc cap normativa al no comercialitzar-se el producte final si bé el construït electrònic està relacionat amb les següents legislacions:

Normatives i estàndards

Reial decret 110/2015, de 20 de febrer, sobre residus d'aparells elèctrics i electrònics.

- Els residus generats s'han de llençar a instal·lacions determinades especialment els residus electrònics.

Reial decret 219/2013, de 22 de març, sobre restriccions a la utilització de determinades substàncies perilloses en aparells elèctrics i electrònics.

- Tots els components són comprats de distribuïdors autoritzats a Espanya i compten amb compliment de la normativa RoHS Internacional.

UNE-EN 61010-1:2011 – *Requerimientos de seguridad de equipos electrónicos de medida, control y uso de laboratorio.*

- Font de tensió, multímetre i oscil·loscopi compleixen normativa CE, per tant normativa europea que tracta sobre equips electrònics.

Les legislacions sobre estàndards de seguretat i importació/exportació en components electrònics no es presenten ja que no es busca comercialitzar la solució, si bé hom s'ha assegurat que tots els components comprats compten amb el marcatge CE.

3. Abast.

Tots els projectes d'enginyeria s'han d'acotar per tal de limitar el temps dedicat a cadascuna de les seves parts, ja que tots els treballs són potencialment millorables. Aquest projecte no n'és una excepció i cal aclarir fins a quin punt s'arriba a l'hora de desenvolupar solucions.

Pel que fa a la part de recerca d'antecedents, es fa una recerca de l'estat del *protoboard* tal i com el va deixar el seu autor en Marc Vigatà el 2021. A més s'investiga i repassa el funcionament i característiques principals del *launchpad* TM4C123GXL, la pantalla Nokia 5110 i la programació en C. La segona part important d'investigació es centra en les pràctiques de laboratori que s'han d'implementar sobre el *boosterpack* pilot i si funcionen correctament. S'inclourà un anàlisi de viabilitat amb viabilitat tècnica, mediambiental i un pressupost final pel projecte.

Un cop acabada la investigació d'antecedents i viabilitats, es procedeix al desenvolupament de la solució. Primerament s'actualitza la informació del *boosterpack* presentada a antecedents per els valors reals obtinguts en proves empíriques. Aquesta informació es documenta i addicionalment s'elaboren guies de pràctiques amb la solució en codi per separat. Això es realitza per a tots els laboratoris fins el 14.

Posteriorment a documentar els problemes de disseny de la versió d'en Marc Vigatà es realitza una nova revisió del *boosterpack* amb gerbers, un pressupost i llista de materials. Se'n manufactura una tirada de 5 plaques per a ser emprades a l'assignatura de Microprocessadors. Es produeixen les 5 unitats de prototip final tot fabricant les PCBs a l'empresa CISA CIRCUITOS IMPRESOS, S.A. per posteriorment comprar els components i soldar-los sobre les plaques rebudes. Les 5 PCBAs es proven amb tots els laboratoris.

Finalment i com a extra, es considera el control de la pantalla LCD Nokia 5110 i que es pugui convertir en una nova pràctica de l'assignatura de microprocessadors al Tecnocampus. Aquesta nova pràctica consistirà en aprendre a fer servir la pantalla a poc a poc i estarà degudament documentada amb l'afegit de que no es compta amb codi base més enllà de Nokia5110.c així que s'han d'elaborar unes instruccions de guia de cara a l'estudiant a més a més d'afegir la solució com a la resta de pràctiques.

4. Objectius i especificacions tècniques.

Un cop definits els antecedents i l'abast del projecte, cal explicar quines són les especificacions o requeriments del projecte en termes més o menys tècnics. Aquests objectius s'avaluaran al final del treball per comprovar si els objectius s'han complert de manera correctament:

Objectiu 1. Documentació de totes les pràctiques (LAB2 - LAB14).

- Especificació 1. Solució codificada que funcioni directament sobre el *boosterpac*.
- Especificació 2. Explicació de l'efecte sobre el hardware del *boosterpac* que s'hauria d'observar amb un codi correcte.
- Especificació 3. Adaptació de la documentació i anunciats d'en J. Valvano a les pràctiques de l'assignatura de microprocessadors.
- Especificació 4. Vídeos demostrant el funcionament de la solució.

Objectiu 2. Pressupost i fabricació de 5 plaques.

- Especificació 1. Després de verificar el bon funcionament de la versió d'en Marc Vigatà, recompte de components i dels seus proveïdors.
- Especificació 2. Explicació de les bondats d'utilitzar el *boosterpac* per part dels estudiants com a justificació.
- Especificació 3. Fabricació de 5 plaques a CISA CIRCUITS IMPRESOS, S.A.
- Especificació 4. Muntatge i soldar els components en 5 plaques actualitzades per obtenir 5 prototips finals llestos a utilitzar.

Objectiu 3. Creació nova pràctica LAB 19.

- Especificació 1. Començar traient píxels, després caràcters i després *strings* a la pantalla
- Especificació 2. Incorporar informació en temps real.
- Especificació 3. Documentació, anunciat i guia de la pràctica.
- Especificació 4. Solució incorporada com a codi.

5. Metodologia.

Les fonts d'informació són els *datasheets* dels components, els manuals d'usuari i *datasheet* de la placa, internet, les esquemàtiques i proves a la placa pilot realitzades per en Marc Vigatà al seu TFG, els anunciats de les pràctiques d'en J. Valvano i les solucions a dites pràctiques obtingudes d'haver cursat l'assignatura de microprocessadors amb anterioritat. A partir d'aquestes limitades fonts d'informació s'ha desenvolupat la nova documentació de les pràctiques, els gerbers de la fabricació de la PCB i les viabilitats sobre incorporar els *launchpads* com a eina a l'assignatura. A més a més gràcies a les fonts d'informació anteriorment esmentades s'ha pogut desenvolupar la solució per a la nova pràctica del LAB19.

A continuació s'afegeix la figura 5.1. amb una gràfica de flux per a entendre una mica més el procés seguit durant el desenvolupament del projecte.

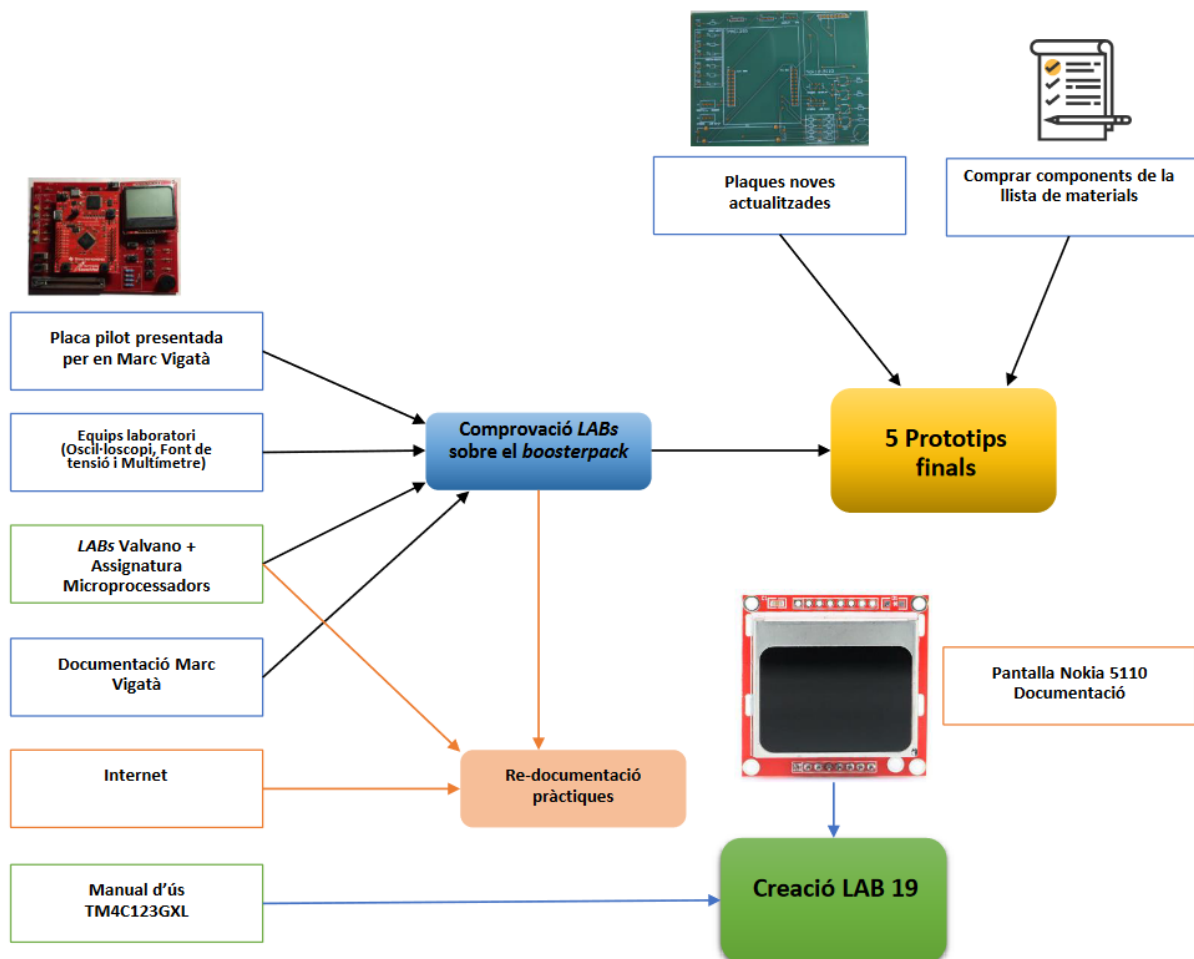


Figura 5.1. Diagrama de processos aplicada al desenvolupament del projecte

Per explicar una mica més el rang d'actuació i posar en valor la feina realitzada durant el desenvolupament de l'última pràctica de laboratori, es realitza una codificació d'unes aplicacions concretes per a la nova pràctica LAB19. Com en tots els programes en C, cal definir el procediment a seguir en les etapes de disseny i implementació. L'esquema a continuació mostra la metodologia TOP-Down que es seguirà [16]:

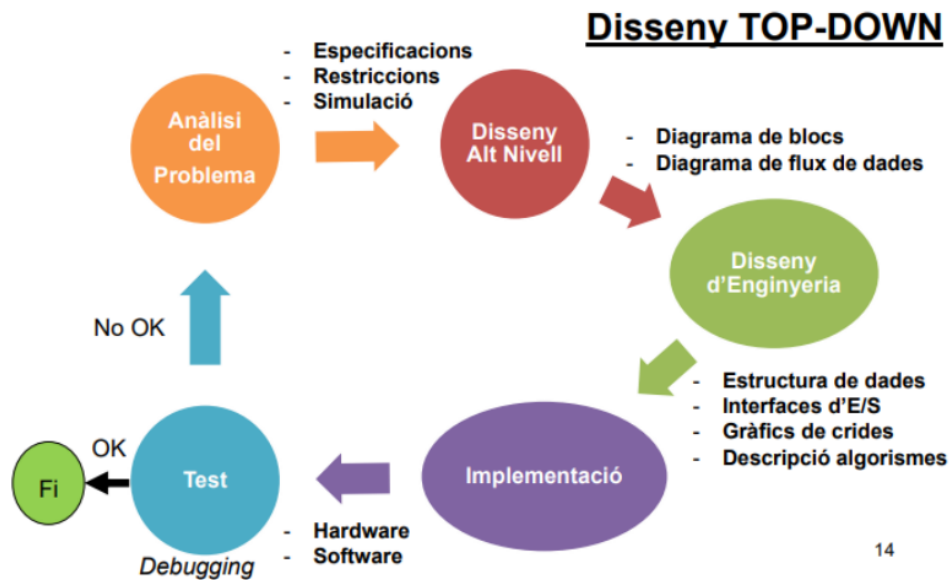


Figura 5.2. Disseny TOP-DOWN.

Un cop revisats els antecedents i el marc conceptual, s'analitza el problema a resoldre. Aquest es concreta amb els objectius i les especificacions, tot recolzant-se amb **dibuixos** representant la pantalla.

Seguidament, es passa al **disseny d'alt nivell**, utilitzant diagrames de flux que mostrin visualment el funcionament del programa, sense entrar en detalls electrònics.

Més endavant, es passa a la solució d'enginyeria, que són **solucions algorísmiques** senzilles, clares i sense ambigüitats, representats diagrames de flux amb les instruccions electròniques a emprar i consells a seguir. S'implementarà posteriorment a nivell de Hardware amb la placa Texas i els diversos components escollits per cada prototip i de software amb un programa en llenguatge C.

Posteriorment, es fa un test del programa (*debugging*) amb l'entorn Keil uVision, i es repetiran els passos anteriors per corregir errors i optimitzar el programa. Finalment, es realitza una tasca de documentació de la pràctica per a deixar-la com les altres.

6. Anàlisi de viabilitat.

A continuació es presenten les 3 principals viabilitats del projecte per tal de demostrar a data d'entrega de l'avantprojecte que és un projecte realitzable.

6.1. Viabilitat tècnica.

Es realitzarà la documentació sobre el *boostpack* amb eines com Microsoft Word, amb les figures a Microsoft PowerPoint i les taules amb Microsoft Excel. Aquesta està realitzada en base a cerques d'informació a internet, el treball de fi de grau d'en Marc Vigatà realitzat el 2021, tret del repositori amb permís exprés de l'autor i proves realitzades per compte pròpia.

Aquestes proves i desenvolupaments de hardware es realitzen amb diverses eines de laboratori. Principalment s'utilitza una font d'alimentació regulable RUZIZAO SPS3010 de fins a 30Vcc i 10 Ampers com a font de tensió, un oscil·loscopi manual ETEPON, un multímetre, una *breadboard*, un ordinador amb el Keil uVision descarregat amb els controladors adequats, un *boostpack* antic (placa pilot) d'en Marc Vigatà i una placa TM4C123GXL.

El disseny de la nova revisió del *boostpack* s'ha realitzat amb el software de disseny de PCBs Altium Designer, amb els detalls de disseny desenvolupats en apartats posteriors. Els *gerbers* s'han creat a partir del disseny i s'han enviat a ser manufacturats a l'empresa CISA CIRCUITOS IMPRESOS, S.A.

Per al soldat de components i elaboració dels 5 prototips finals s'han agafat cinc plaques de les fabricades, s'ha emès una comanda dels components necessaris i aquests s'han soldat amb un soldador de 60W amb punta fina, fil de soldadura de 60% estany i 40% plom i flux.

La pràctica 19 s'ha elaborat amb un disseny TOP-DOWN i intentant aconseguir una pràctica que ensenyi a fer servir la pantalla Nokia 5110 amb passos entenedors per l'alumnat.

6.2. Viabilitat econòmica.

A continuació s'inclou la viabilitat econòmica del present treball. Hom ha de recordar que aquest compta amb les hores d'enginyer utilitzades (capítol I), el compte de material (capítol II) i d'amortitzacions (capítol III).

6.2.1. Amidaments.

Capítol I: Elaboració del projecte		
Codi	Descripció	Parts iguals
1.1	Hores d'enginyer destinades a la cerca d'antecedents (AP1)	108
1.2	Hores d'enginyer destinades al desenvolupament de la documentació i prototips(AP1)	164
1.3	Hores d'enginyer destinades a l'elaboració de la pràctica final(AP1)	50
1.4.	Elaboració, repassar i maquetar (AP1)	40
1.5	Maquetació final	15
1.6	Costos fixes	1

Taula 6.2.1.1. Amidaments del capítol I del pressupost.

Notis que la quantitat d'hores es correspon amb la durada de les tasques, això és per que només un enginyer hi treballa

6.2.2. Quadre de preus.

Capítol I: Elaboració del projecte		
Codi	Unitats	Preu unitari
1.1	Hores d'enginyer (AP1)	55,00 €
1.2	Hores d'enginyer (AP1)	55,00 €
1.3	Hores d'enginyer (AP1)	55,00 €
1.4.	Hores d'enginyer (AP1)	55,00 €
1.5	Maquetació final	30,00 €
1.6	Costos fixes	600,00 €

Taula 6.2.2.2.1. Quadre de preus del capítol I del pressupost.

Notis que els costos fixes venen derivats dels diversos subministraments contractats, llum, internet, etc... De la mateixa manera, el cost per hores d'enginyer està basat en preu de mercat a les oficines tècniques.

6.2.3. Pressupost parcial.

Capítol I: Elaboració del projecte				
Codi	Descripció	Parts iguals	Preu unitari	Cost d'inversió
1.1	Hores d'enginyer destinades a la identificació del problema i cerca d'antecedents (AP1)	108	55,00 €	5.940,00 €
1.2	Hores d'enginyer destinades al desenvolupament del model, simulació i estudi dels resultats (AP1)	164	55,00 €	9.020,00 €
1.3	Hores d'enginyer destinades a l'elaboració de diverses solucions a futur (AP1)	50	55,00 €	2.750,00 €
1.4.	Elaboració, repassar i maquetar (AP1)	40	55,00 €	2.200,00 €
1.5	Maquetació final	15	30,00 €	450,00 €
1.6	Costos fixes	1	600,00 €	600,00 €
Costos Indirectes (10%)				2.096,00 €
Marge (15%)				3.144,00 €
Total Capítol I (costos enginyeria)				26.200,00 €

Taula 6.2.3.1. Capítol I: Elaboració del projecte.

Capítol II: Material per 5 PCBs				
Codi	Descripció	€/unitat	Unitats	€
2.1 Costos directes				387,07 €
2.1.1	Impressió Treball Entrega final	10,00 €	1	10,00 €
2.1.2	Samtec TSW-110-08-G-D	3,74 €	10	37,36 €
2.1.3	Samtec SSW-108-02-G-S	4,15 €	5	20,75 €
2.1.4	Samtec TSW-104-08-G-S	0,57 €	10	5,71 €
2.1.5	Buzzer	4,09 €	5	20,45 €
2.1.6	C&K TS01CBE	4,82 €	15	72,30 €
2.1.7	C&K JS202011CQN	0,50 €	10	5,00 €
2.1.8	OMRON B3f-1020	0,89 €	20	17,82 €
2.1.9	Kingbright L-934SGD	0,24 €	10	2,40 €
2.1.10	Kingbright L-934SYD	0,76 €	10	7,57 €
2.1.11	Kingbright L-934ID	0,27 €	15	4,10 €
2.1.12	ON Semiconductor 1N4148TR	0,10 €	20	2,06 €
2.1.13	Res. 150ohm 5% 0.25W	0,11 €	20	2,10 €
2.1.14	Res. 10kohm 5% 0.25W	0,20 €	20	4,00 €
2.1.15	Res. 180ohm 1% 0.6W	0,17 €	15	2,55 €
2.1.16	Res. 80ohm 0.1% 0.25W	0,77 €	5	3,86 €
2.1.17	Res. 40ohm 0.1% 0.25W	0,77 €	5	3,86 €
2.1.18	Res. 20ohm 0.1% 0.25W	0,77 €	5	3,86 €
2.1.19	Res. 10ohm 0.1% 0.25W	0,68 €	5	3,38 €
2.1.20	Bourns PTA4543-2015DPB103	2,35 €	5	11,75 €
2.1.21	Fabricació PCB (1 unitat)	29,24 €	5	146,20 €
2.2 Costos indirectes (20%)				77,41 €
2.3 Imprevistos (30%)				58,06 €
TOTAL CAPITOL II				522,54 €

Taula 6.2.3.2. Capítol II: Material.

Aquest compte de material està compost per la creació del projecte i la realització de les 5 PCBAs.

Capítol III: Amortitzacions				
Codi	Descripció	Parts iguals	Preu unitari	Cost d'inversió
Part material				
3.1.1	Ordinador escriptori	1	800,00 €	800,00 €
3.1.2	Impressora	1	80,00 €	80,00 €
3.1.3	Mobiliari	1	450,00 €	450,00 €
3.1.4	Telefòn empresa	1	250,00 €	250,00 €
Amortització actius materials TOTAL				1.580,00 €
Amortització materials a 3 anys per hora				0,59 €
Dies x Projecte				169
Total actius materials Capítol III				296,69 €
Part software				
3.2.1	Microsoft Office 1 any	1	126,00 €	126,00 €
3.2.2	Keil uVision Versió Gratuïta	1	- €	- €
3.2.3	Microsoft Project 1 any	1	929,00 €	929,00 €
3.2.4	Altium Designer 1 any - Student Edition	1	- €	- €
Amortització software TOTAL				1.055,00 €
Amortització software a 1 any per hora				1,17 €
Dies x Projecte				169
Total actius materials Capítol III				594,32 €
Total Capítol III (Amortitzacions)				891,01 €

Taula 6.2.3.3. Capítol III: Amortitzacions.

h/dia	dies/any	nº anys amortització material	€/hora
3	300	3	0,59 €

h/dia	dies/any	nº anys amortització software	€/hora
3	300	1	1,17 €

Taula 6.2.3.4. Amortització per hora de material i software.

En els pressupostos finals s'ha escollit realitzar els càlculs amb un percentatge de costos indirectes del 10% sobre de la mà d'obra i el marge s'ha dissenyant amb un 15%. Per a calcular el compte de material se li ha adjudicat un cost indirecte del 20% i uns imprevistos del 30% ja que el mercat dels semiconductors ha estat recentment molt volàtil.

Pel que fa a les amortitzacions s'ha comptat amb 3 hores de feina per dia laborable, 300 dies laborables l'any i 169 dies per a l'execució del projecte, tal i com marca la planificació. La diferència entre l'amortització de material i el software està en que les llicències de software són a 1 any mentre que el material està fixat a 3 anys.

6.2.4. Pressupost global.

Total Capítol I	26.200,00 €
Total Capítol II	522,54 €
Total Capítol III	891,01 €
TOTAL	27.613,55 €
IVA (21%)	5.798,85 €
TOTAL PRESSUPOST	33.412,40 €

Taula 6.2.4.1. Pressupost global de l'avantprojecte.

El pressupost del projecte és de **33.412,40** comptant un IVA del 21%.

6.3. Viabilitat mediambiental.

El projecte tracta per una banda de l'elaboració de documentació i per l'altre, construcció amb soldadura de 5 prototips finals havent comprat els components necessaris a proveïdors (marcat CE i RoHS) .

El present projecte es pot considerar d'un impacte mediambiental molt baix.

La taula presentada a continuació és un petit resum de les taules mediambientals normalitzades que es troben a l'apartat *Annexos 2 – Viabilitat Mediambiental*, degut a la seva llargada.

Accions impactants

Accions impactants		Conclusions
Fase de construcció o Execució	Acústiques	Impacte nul
	Visuals	Impacte nul
	Residus	Paper imprès per les memòries. Evitar imprimir excepte la memòria final. Packagings de paper a la brossa de paper i els de plàstic a la groga. Molt petita escala
Fase de Funcionament o Explotació	Acústiques	Impacte nul
	Visuals	Impacte nul
	Residus	Fabricació de les PCBs i compra i muntatge dels components. Tot de fonts certificades i marcatges CE. Residus produïts mínims
Final de la vida útil	Acústiques	Impacte nul
	Visuals	Impacte nul
	Residus	Paper imprès per les memòries. A la paperera. Llançar residus electrònics a la deixalleria en llocs especialitzats.

Taula 6.3.1. Taula resum Factors impactants.

Factors ambientals impactats

Factor ambiental		Impacte
Medi natural	Atmosfera	Impacte nul.
	Sòl	Impacte nul.
	Aigua	Impacte nul.
	Flora	Impacte nul.
	Fauna	Impacte nul.
Medi socioeconòmic	Usos del territori	Impacte nul
	Cultural	Impacte nul
	Infraestructura	Impacte nul.
	Humans	Evitar cremar-se i ensumar la soldadura i el flux.
	Economia i població	Millora l'aprofitament del temps dels alumnes a l'assignatura

Taula 6.3.2. Taula resum Factors ambientals impactants.

6.4. Perspectiva de gènere.

Si bé la perspectiva de gènere és un concepte a tenir en compte sempre que es realitzen projectes d'enginyeria, en aquest no s'aplica gaire. Al tractar-se d'un material de suport bibliogràfic i físic de pràctiques, s'han de tenir diverses coses en compte:

- Que no s'hagin d'exercir forces que discrimini a algun dels dos gèneres.
Com que hi ha res que requereixi força per ser accionat a part dels switches, no aplica.
- Que no hi hagi risc d'electrocució més elevat depenen del gènere del estudiant.
Al tractar-se d'electrònica i no electricitat, no hi ha perill d'electrocució i no aplica.

En el material de documentació s'anirà en compte a l'hora d'adreçar-se a l'alumne i es farà servir la primera persona del plural, la segona persona del singular, l'impersonal (l'alumne) o bé el genèric formal en català (vos).

7. Desenvolupament de documentació per al *boosterpack*.

Dins aquest apartat es genera la documentació necessària per la implementació del *boosterpack* a les pràctiques i la seva fabricació. Primerament es considera a el disseny realitzat per en Marc Vigatà, identificant les seves principals problemàtiques. Un cop ja es tenen localitzades, es proposa la solució realitzada amb Altium Designer. Ja finalment, es mostra les esquemàtiques resultants i les diferències de components i preus resultants degut al canvi en hardware i la diferència de 2 anys.

7.1. Problemes presents a la placa elaborada per en Marc Vigatà.

La placa presentada per en Marc Vigatà (en les seves dues versions, pilot i final) presenta diversos problemes que s'enumeren a continuació, per tal de solucionar-ho en posteriors apartats.

7.1.1. Rutes massa properes.

Les rutes, en un disseny amb components tant espaiats entre ells, han d'intentar evitar de totes totes les rutes paral·leles durant massa distància. Si aquestes són inevitables s'ha de fer que les dites paral·leles estiguin tant separades entre elles com sigui possible. Amb una distància mínima de només 0,254 mm entre elles, i tenint en compte que hi ha prou espai a la PCB, es considera que no s'ha aprofitat prou l'espai.

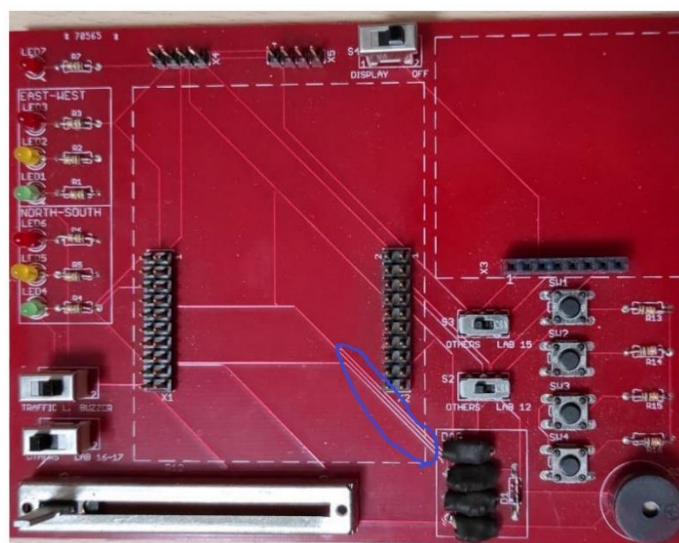


Figura 7.1.1.1. Exemple de rutes massa properes dins la PCB d'en Marc Vigatà.

7.1.2. GND massa prim i proper a senyals.

Les rutes de terra no són sensiblement més grans que la resta de rutes (totes 0,254mm), per lo que no es compleix amb la regla no escrita de disseny de PCBs que així ho marca. Al solucionar aquest problema es vol aconseguir fer menys susceptible la ruta a problemàtiques que posteriorment alimentin un error general a la placa (un problema a la connexió GND pot provocar molts errors secundaris difícils de detectar).

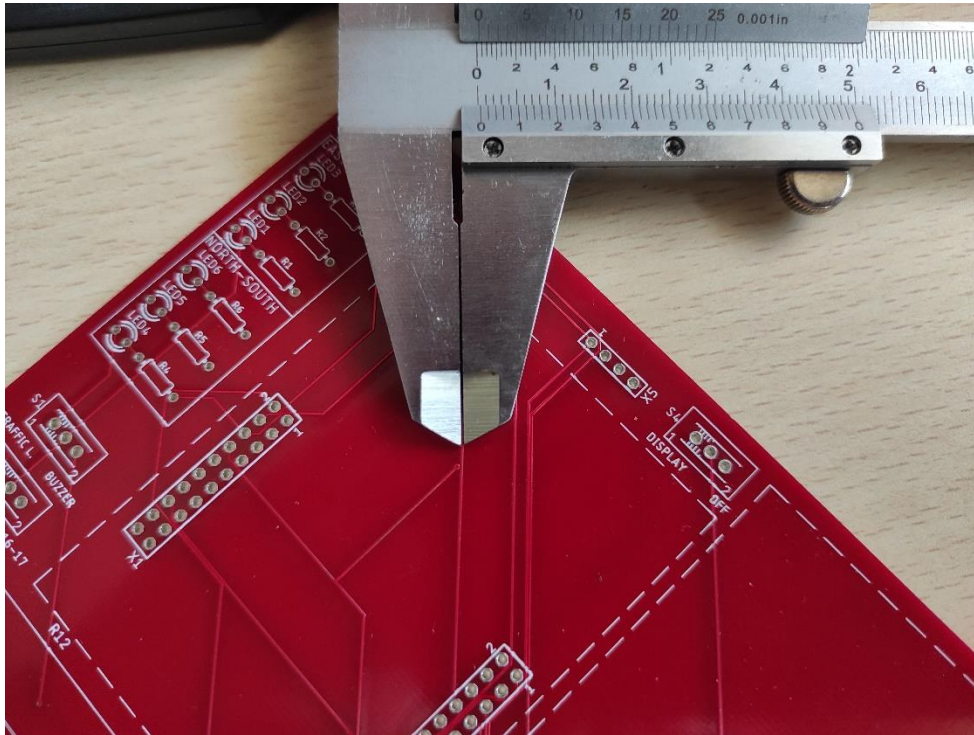


Figura 7.1.2.1. Amplada de la ruta GND.

S'ha de passar de l'amplada de 0,254 mm marcada per en Marc Vigatà a un mínim del doble.

7.1.3. Sistema de DAC massa petit per R i D.

L'espai dedicat al muntatge dels components resistors (R8, R9, R10 i R11) i díodes (D1, D2, D3 i D4) del DAC és molt estret. Això és degut a que en el disseny de la placa pilot s'hi dedicava només un díode en posició vertical i no horitzontal. Al veure que no funcionava, a la nova revisió de la placa en Marc Vigatà va col·locar-ne 4 en horitzontal, que no hi cabien en el mateix espai. En la nova revisió s'ha d'intentar concedir més espai horitzontal per aquests components.

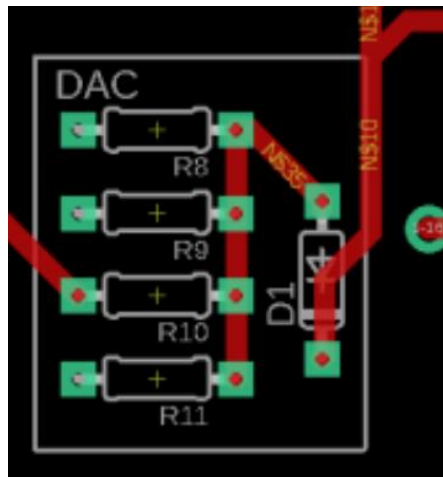


Figura 7.1.3.1. Disseny de la divisió DAC a la placa pilot d'en Marc Vigatà.

7.1.4. Connector X3 del revés.

El problema més visual de cara a l'efecte percebut per l'estudiant és que la pantalla Nokia 5110 a la placa pilot estava a sota en comptes de sobre i girar-la 180°. Això provoca que malgrat que la pantalla es col·loca sobre l'espai dedicat a ella, les lletres es mostren al revés.

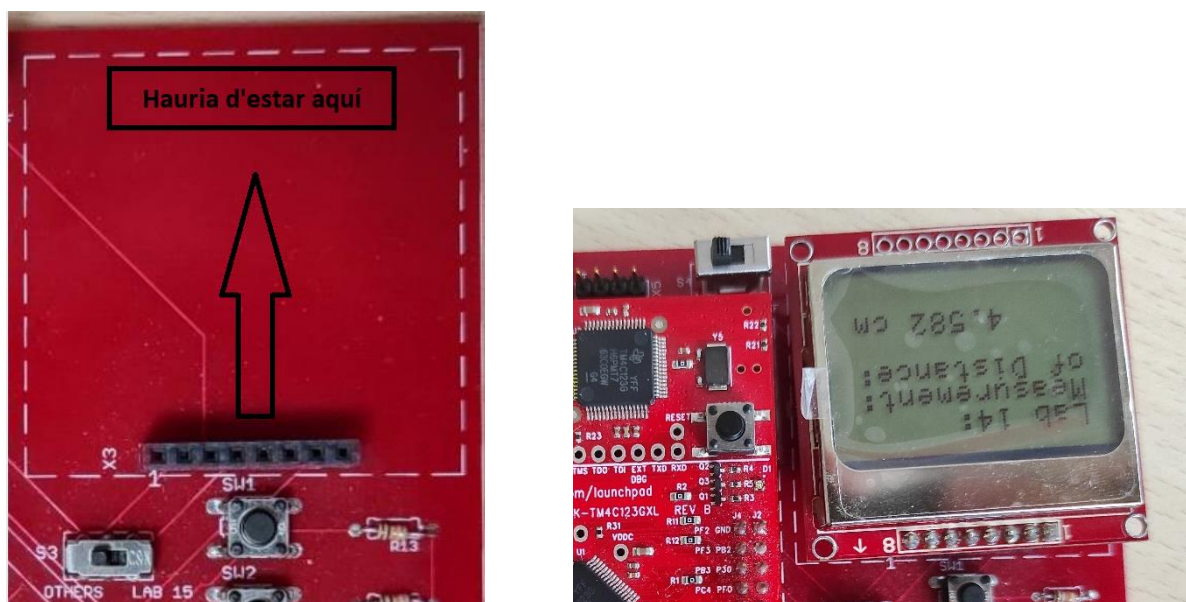


Figura 7.1.4.1. Problema de la placa pilot.

Això es va detectar i intentar solucionar a la versió definitiva, però en comptes d'emmenar l'error, es va girar 180° el connector X3 i no es va moure a la part superior de la placa. Això

provoca que si bé les lletres ara ja no estan de cap per avall, la pantalla tapa els botons SW de sota en comptes d'ocupar l'espai dedicat a ella.

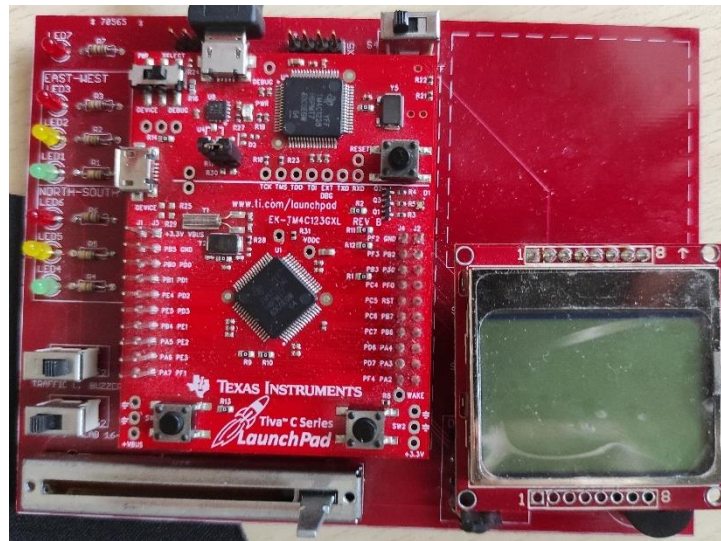


Figura 7.1.4.2. Problema de la placa definitiva d'en Marc Vigatà.

7.1.5. Serigrafia X4 i X5 cap per avall.

La serigrafia X4 i X5 es troba cap per avall. Això s'ha de solucionar i ja de pas, col·locar la serigrafia de la resta de components en un ordre més clar. Entre d'altres col·locar l'ordre de pins amb punts sobre el pin 0 o inicial dels components, en comptes del 1 proposat per en Marc Vigatà al seu TFG.

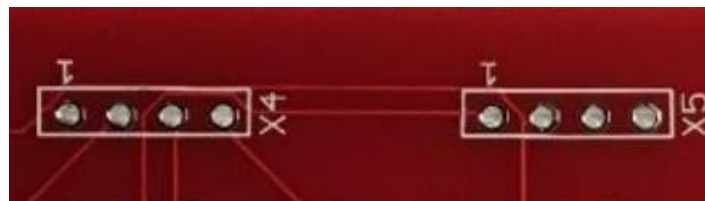


Figura 7.1.5.1. Serigrafia X4 i X5.

7.1.6. Serigrafia dels switches poc intuïtiva.

La serigrafia dels *switches* selectors arriba a confondre el que no està familiaritzat amb el funcionament del *boosterpack*. Això s'intenta solucionar amb el canvi de la serigrafia LAB12 del S2 per LAB 8-12, ja que s'empra en dita configuració en ambdues sessions de laboratori.

Per altra banda, es canvia la serigrafia LAB15 per DISPLAY, ja que es fa servir en dita configuració sempre que hi ha la pantalla connectada. La taula quedaria així:

Switches	LAB6	LAB7	LAB8	LAB10	LAB11	LAB12	LAB13	LAB14	LABX
S1			-	T.LIGHT		BUZZER	BUZZER	-	
S2			LAB 8-12	OTHERS		LAB 8-12	OTHERS	OTHERS	
S3			OTHERS	OTHERS		OTHERS	OTHERS	DISPLAY	
S4			OFF	OFF		OFF	OFF	DISPLAY	
S5			OTHERS	OTHERS		OTHERS	OTHERS	OTHERS	

Taula 7.1.6.1. Taula de selecció de *switches* amb la nova serigrafia.

7.1.7. DAC sona tot igual.

El primer disseny que va realitzar en Marc Vigatà va deixar entreveure que sense díodes en sèrie amb les resistències del DAC, les llums de la pràctica LAB10 (Traffic Light) baixaven d'intensitat. Això era degut a un problema amb que al compartir els mateixos pins d'input, es creava un divisor de tensió entre els LEDs i resistències de tràfic i les resistències del DAC. Algunes de les llums, ni tant sols s'arriben a encendre. La segona iteració es va solucionar posant díodes en sèrie amb totes les connexions del DAC. El problema que sorgeix i no menciona en Marc Vigatà amb el nou model està en que el DAC laboratori 13, tant és la nota musical que es posi a la sortida, sona tot semblant. Això pot ser degut a la configuració dels díodes feta per en Marc Vigatà, que no deixa crear el divisor de tensió natural entre les resistències del DAC, que fa estabilitzar el voltatge a l'entrada del *buzzer*.

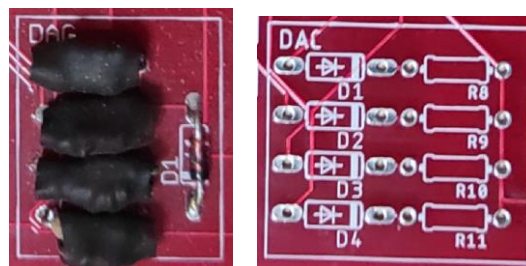


Figura 7.1.7.1. Configuracions del DAC d'en Marc Vigatà.

Aquest problema es detecta després de rebre la placa nova fabricada, així que la solució immediata que es proposa és curtcircuitar un díode. En concret, el que amb la seva falta, faci sonar millor el brunzidor. Aquest acaba resultant el D2. L'únic inconvenient es que les llums LEDs del Traffic Light LAB10, en concret el LED 4, baixa lleugerament d'intensitat, tot i que es continua podent diferenciar els estats encés/apagat sense problemes.

7.2. Disseny d'una nova placa *boosterpack*.

Amb les informacions extretes de la placa d'en Marc Vigatà i tot el *know-how* extra provinent de la resolució de pràctiques, s'ha dissenyat una revisió (rev.1) del dit *boosterpack* des de 0.

Lo més important a l'hora de seguir el re-disseny ha estat el respecte a la feina feta per en Marc Vigatà, solució d'errors i la millora general en paràmetres, posada de vies i funcionalitats.

Pel que fa al disseny de la PCB des d'un punt de vista físic s'han tingut en compte una llista de condicions que es poden revisar a la següent pàgina .html sobre la verificació del disseny.

https://drive.google.com/file/d/1UBFEYbfgU_dr-8PU7qu69Tsc8baaz3Fj/view?usp=sharing

Nota: No s'han fet servir *testpoints* al disseny ja que s'ha considerat que era un disseny prou bàsic com per a no necessitar-los. La manufacturera de les PCBs ja sabrà comprovar una placa tant senzilla si així es requereix. A continuació es presenta en imatges les consignes des de la configuració de disseny de l'Altium Designer més importants.

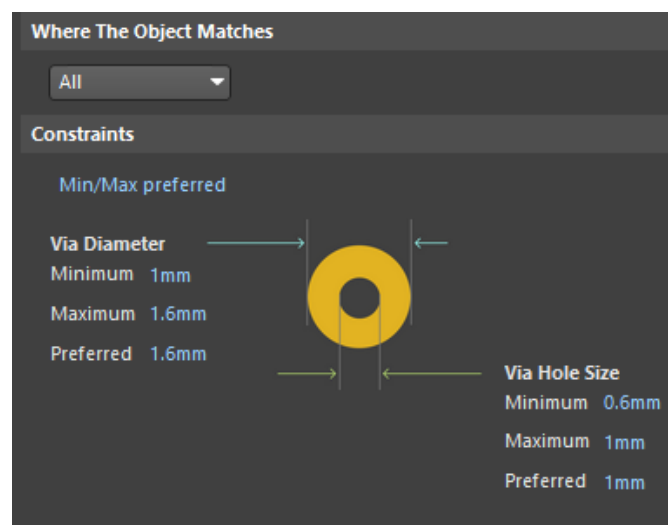


Figura 7.2.1. Mida dels forats passants.

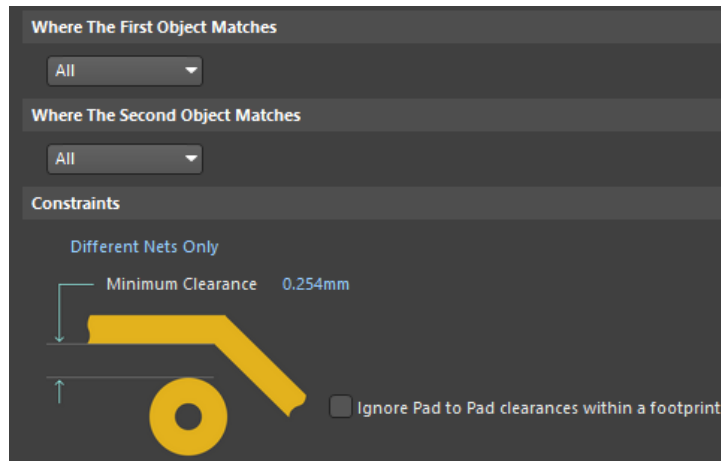


Figura 7.2.2. Mida de la distància entre components, forats i vies.

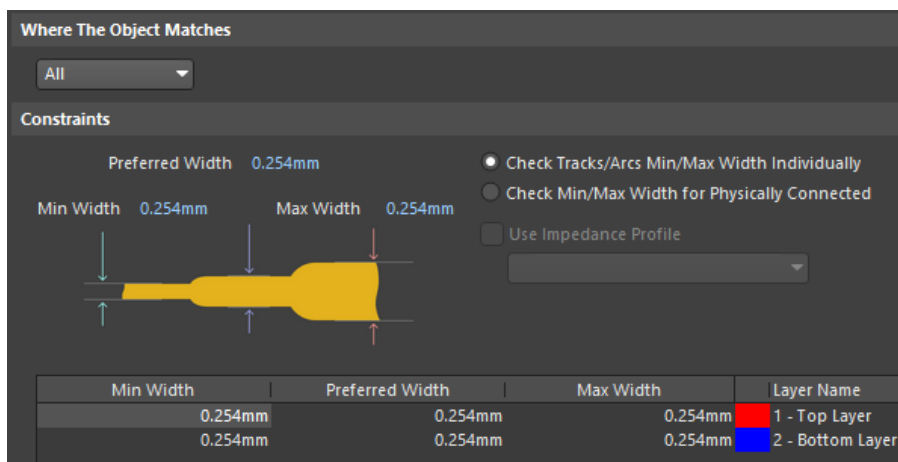


Figura 7.2.3. Mida de els vies normals.

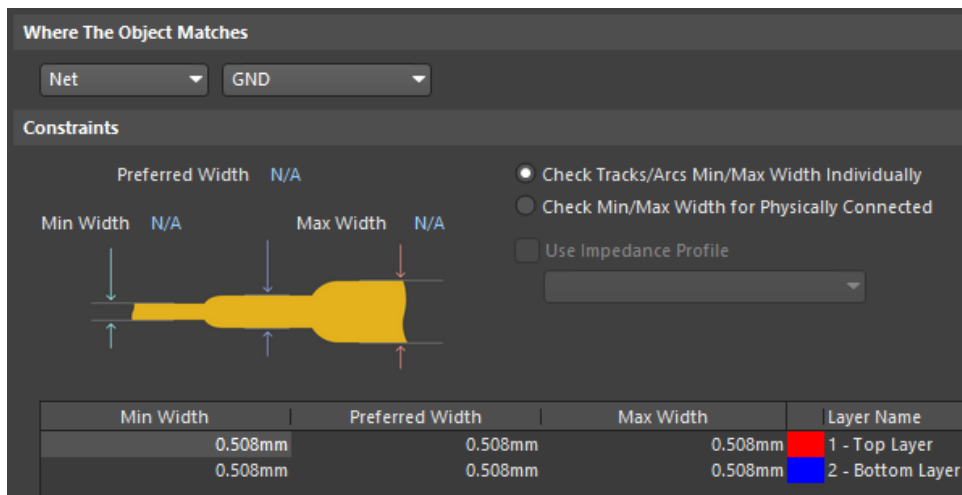


Figura 7.2.4. Mida de les vies de terra (GND).

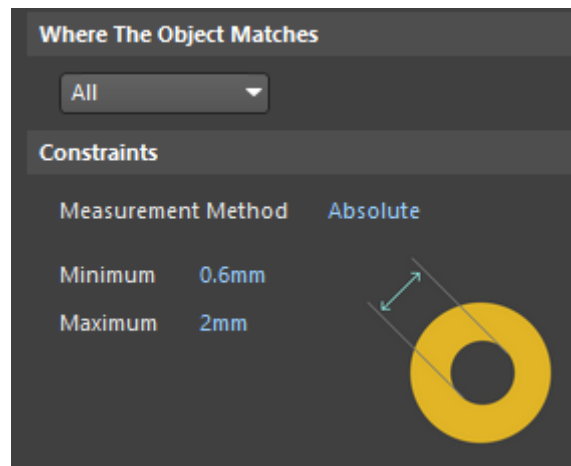


Figura 7.2.5. Mida dels forats interns PCB.

S'ha seguit emprant la mateixa mida de la placa que en Marc Vigatà (93,47 x 124,97mm). El fabricant va avisar de que el preu per la superfície de la placa es podria rebaixar no sobrepassant els 120mm horitzontals, tot i que finalment ho va desmentir, per lo que es va deixar com estava.

Ara es mostra la taula de components emprada. S'ha extret de les mesures i taules d'annexos del TFG d'en Marc Vigatà i modificada a partir del posterior procés de disseny propi. Es posa en la seva última versió i amb les referències actives a RS-Online.

Codi Component	Nom component	Referència RS-Online	Unitats	Descripció
X1 i X2	Samtec TSW-110-08-G-D	180-1946	2	Connectors 20 vies 2 files
X3	Samtec SSW-108-02-G-S	765-5705	1	Connector 8 vies 1 fila
SG1	Buzzer	511-7670	1	Buzzer
S1,S4,S5	C&K TS01CBE	793-1790	3	SW 2 pos. 3 pins
S2,S3	C&K JS202011CQN	154-6136	2	SW 2 pos. 6 pins
SW1,SW2,SW3,SW4	OMRON B3f-1020	682-1131	4	SW 2 pos. 4 pins
LED1,LED4	Kingbright L-934SGD	247-1549	2	LED Verd
LED4,LED5	Kingbright L-934SYD	247-1555	2	LED Groc
LED3,LED6,LED7	Kingbright L-934ID	228-5916	3	LED vermell
D1,D2,D3,D4	ON Semiconductor 1N4148TR	671-5477	4	Diode 100V
R1,R2,R4,R5	Res. 150ohm 5% 0.25W	135-796	4	R 150 Ohms
R3,R6,R7	Res. 180ohm 1% 0.6W	148-326	3	R 180 Ohms
R8	Res. 80ohm 0.1% 0.25W	754-6963	3	R 80 Ohms
R9	Res. 40ohm 0.1% 0.25W	754-5721	1	R 40 Ohms
R10	Res. 20ohm 0.1% 0.25W	754-8805	1	R 20 Ohms
R11	Res. 10ohm 0.1% 0.25W	137-2768	4	R 10 Ohms
R12	Bourns PTA4543-2015DPB103	737-7789	1	Potenciòmetre 10kOhms

Taula 7.2.1. Llista de components de la PCB del *boosterpack*.

A **annexos 4 –Datasheet Components** s'inclouen tots els *datasheets* dels components emprats.

A partir de les condicions descrites i comprovades sobre el disseny donat, sobre els components col·locats, tal i com s'ha explicat a l'anterior arxiu, s'ha donat per vàlid el nou disseny. Ara es

presenta l'esquemàtica de connexions del *boosterpack*, la col·locació de vies a dues bandes emprada i finalment imatges de la PCB en 3D.

L'esquemàtica del *launchpad* renovada es presenta a l'Annex 1 – Plànols en format DIN-A3 estàndard, en comptes de la imatge no reglamentària presentada per en Joan Vigatà.

Pel que fa a les rutes d'ambdues cares de la PCB i dels components, es presenta la següent distribució:

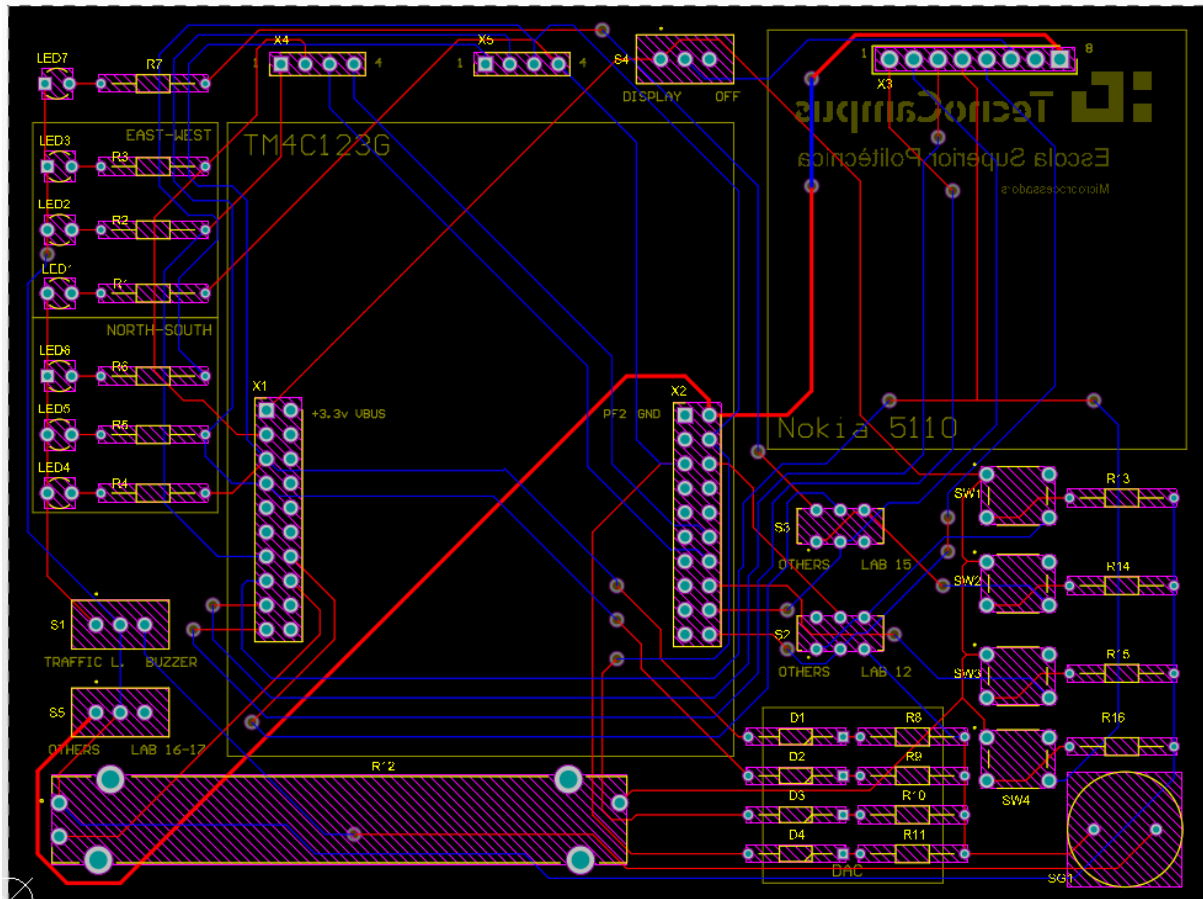


Figura 7.2.6. Esquemàtica de rutes i components del *boosterpack* Rev.1.

Les imatges 3D (funcionalitat pròpia de l'Altium Designer) de la placa es mostren a continuació de cap per munt i de cap per avall.

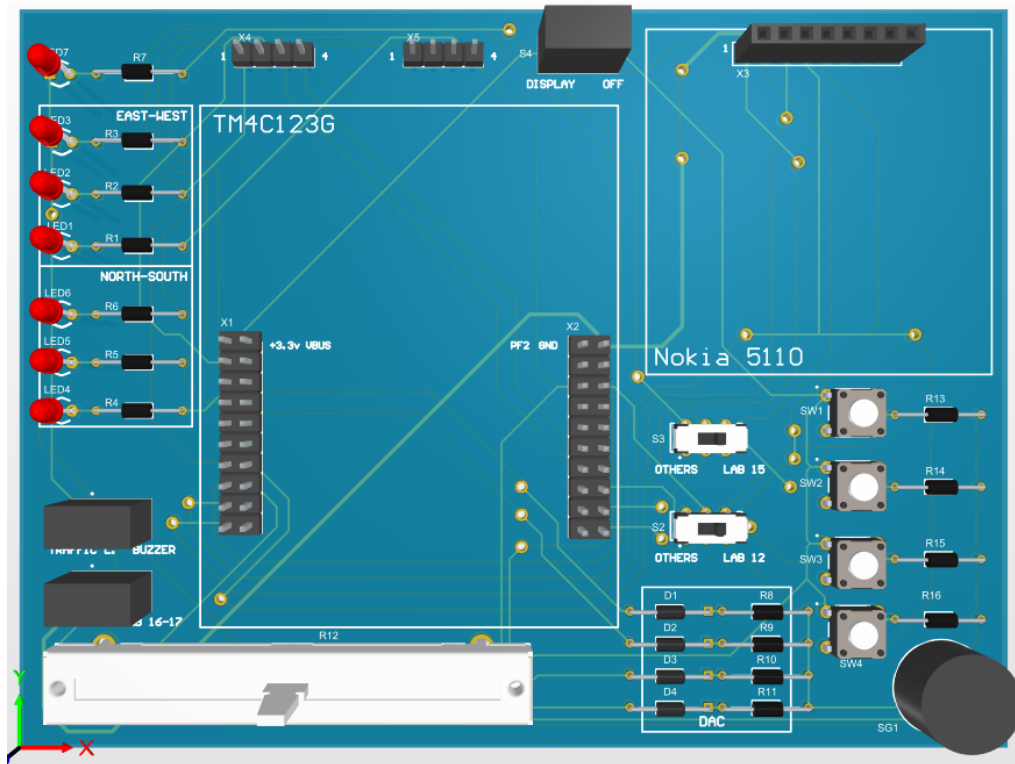


Figura 7.2.7. Figura 3D del boosterpack cara amunt.

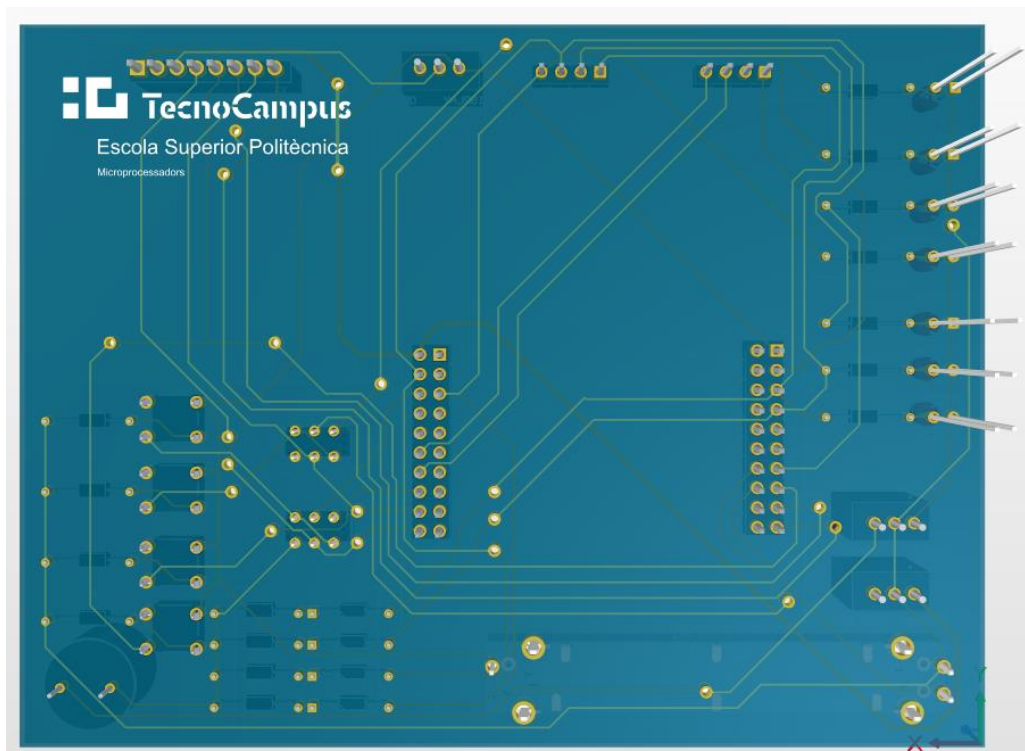


Figura 7.2.8. Figura 3D del boosterpack cara avall.

Es veu prou bé tant a nivell visual com de connexions.

Una nota final sobre el disseny realitzat, es que si bé el proveïdor RS-Components compta amb *footprints* per a tots els productes que tenen en venda, molts cops aquestes no compten amb prou informació com per a incorporar-les directament sobre el disseny Altium. Per poder emprar-los tant a l'esquemàtica com al 3D, s'ha hagut de crear *footprints* amb el software d'extensió d'Altium: *Altium Library Loader V2.2*.

A més, les *footprints* sense 3D o amb 3D amb mides errònies s'han hagut de substituir per d'altres creades a mà. Més concretament components resistors que no comptaven amb una *footprint* pública *on-line* adequada s'han hagut de crear de nous per tal de fer-los encabir dins d'unes dimensions reduïdes de 3,55 mm. És per això que visualment són el mateix resistor repetit, el de referència 754-5721 (40 Ohms).

7.3. Fabricació de la Rev.1 del *boosterpack*.

En aquest apartat es dona la informació que s'ha necessitat per tal de poder realitzar la fabricació de la nova versió del *boosterpack* a l'empresa de fabricació de PCBs.

7.3.1. Arribada de components.

Primerament es mostra la taula de components amb el seu codi de referència de proveïdors dins d'RS Components (únic proveïdor emprat), i data d'arribada. Aquesta taula s'ha emprat per a tasques de planificació sobretot, per controlar els enviaments realitzats en diferents dates per diferents proveïdors dins de la plataforma RS Components, complint tots ells dins dels terminis estipulats. La recepció d'albarans s'inclou dins **d'annex 3 - Albarans**.

Codi Component	Nom component	Referència RS-Online	Unitats	Descripció	Arribat?	Data arribada
X1 i X2	Samtec TSW-110-08-G-D	180-1946	2	Connectors 20 vies 2 files	SI	06/03/2023
X3	Samtec SSW-108-02-G-S	765-5705	1	Connector 8 vies 1 fila	SI	06/03/2023
X4 i X5	Samtec TSW-104-08-G-S	180-2217	2	Connector 4 vies 1 fila	SI	12/04/2023
SG1	Buzzer	511-7670	1	Buzzer	SI	06/03/2023
S1,S4,S5	C&K TS01CBE	793-1790	3	SW 2 pos. 3 pins	SI	07/03/2023
S2,S3	C&K JS202011CQN	154-6136	2	SW 2 pos. 6 pins	SI	07/03/2023
SW1,SW2,SW3,SW4	OMRON B3F-1020	682-1131	4	SW 2 pos. 4 pins	SI	07/03/2023
LED1,LED4	Kingbright L-934SGD	247-1549	2	LED Verd	SI	01/03/2023
LED2,LED5	Kingbright L-934SYD	247-1555	2	LED Groc	SI	07/03/2023
LED3,LED6,LED7	Kingbright L-934ID	228-5916	3	LED vermell	SI	01/03/2023
D1,D2,D3,D4	ON Semiconductor 1N4148TR	671-5477	4	Diode 100V	SI	07/03/2023
R1,R2,R4,R5	Res. 150ohm 5% 0.25W	135-796	4	R 150 Ohms	SI	07/03/2023
R3,R6,R7	Res. 180ohm 1% 0.6W	148-326	3	R 180 Ohms	SI	06/03/2023
R8	Res. 80ohm 0.1% 0.25W	754-6963	3	R 80 Ohms	SI	07/03/2023
R9	Res. 40ohm 0.1% 0.25W	754-5721	1	R 40 Ohms	SI	07/03/2023
R10	Res. 20ohm 0.1% 0.25W	754-8805	1	R 20 Ohms	SI	07/03/2023
R11	Res. 10ohm 0.1% 0.25W	137-2768	4	R 10 Ohms	SI	07/03/2023
R12	Bourns PTA4543-2015DPB103	737-7789	1	Potenciòmetre 10kOhms	SI	07/03/2023
R13,R14,R15,R16	Res. 10kohm 5% 0.25W	707-7745	2	R 10kOhms	SI	11/04/2023

Taula 7.3.1.1. Llistat de components emprats per al *boosterpack* i dates d'arribada.

7.3.2. Gerbers del nou *boosterpack*.

En el següent enllaç es poden descarregar els gerbers per a la fabricació del *boosterpack*.

<https://drive.google.com/file/d/1WJGYOV6LfcMaQ76FR-ksTXgcQLi6eNo4/view?usp=sharing>

7.3.3. Elecció del fabricant.

La fabricació corre a càrrec de l'empresa CISA CIRCUITOS IMPRESOS, S.A en comptes de Dirty PCBs. Aquest canvi de proveïdor respecte l'elecció d'en Marc Vigatà el 2021 es deu a que es troba més a prop (Catalunya en comptes de la Xina) i per tant és més ecològic i ràpid. El principal inconvenient és l'augment de preu, (145€ respecte als anteriors 40€ de Dirty PCBs).

A part d'aquestes característiques, es va valorar una relació directa del tutor del TFG amb un dels enginyers de fabricació de l'empresa. Així s'ha pogut aprofitar una via de comunicació fluida.

A l'**annex 3 – Albarans**, s'hi troba un enllaç que porta al pressupost de les 6 PCBs. Finalment es va escollir el *pack* més barat, de 6 unitats, en 6 dies, 19h a portes i 145€ en total.

7.4. Valoració econòmica del nou disseny.

A l'**annex 3 – Albarans**, s'hi troba un enllaç que porta a l'albarà de recepció de les 6 PCBs fabricades, amb un preu unitari de **29,24 €**. Amb aquest preu ja es té tots els preus que impliquen la fabricació de les PCBAs a data d'abril de 2023. A continuació es mostra la dita evolució de preus des de l'estudi realitzat per en Marc Vigatà (realitzat el 2021) amb el seu preu actualitzat a data de 13/4/2023:

Identificadors	Nom component	Referència RS-Online	Preu/unitat 2021	Preu/unitat 2023	Unitats	Preu 1 PCB 2021	Preu 1 PCB 2023	Increment [%]	Observació
X1 i X2	Samtec TSW-110-08-G-D	180-1946	2,92 €	3,74 €	2	5,84 €	7,47 €	28%	
X3	Samtec SSW-108-02-G-S	765-5705	2,26 €	4,15 €	1	2,26 €	4,15 €	84%	
X4 i X5	Samtec TSW-104-08-G-S	180-2217	0,16 €	0,57 €	2	0,32 €	1,14 €	257%	
SG1	Buzzer	511-7670	2,38 €	4,09 €	1	2,38 €	4,09 €	72%	
S1,S4,S5	C&K TS01CBE	793-1790	3,85 €	4,82 €	3	11,55 €	14,46 €	25%	
S2,S3	C&K JS202011CQN	154-6136	0,36 €	0,50 €	2	0,72 €	1,00 €	39%	
SW1,SW2,SW3,SW4	OMRON B3F-1020	682-1131	0,31 €	0,89 €	4	1,24 €	3,56 €	187%	
LEDV	Kingbright L-934SGD	247-1549	0,11 €	0,24 €	2	0,22 €	0,48 €	118%	
LEDG	Kingbright L-934SYD	247-1555	0,23 €	0,76 €	2	0,46 €	1,51 €	229%	
LEDR	Kingbright L-934ID	228-5916	0,14 €	0,27 €	3	0,42 €	0,82 €	95%	
D1,D2,D3,D4	ON Semiconductor 1N4148TR	671-5477	0,04 €	0,10 €	4	0,16 €	0,39 €	145%	
R1,R2,R4,R5	Res. 150ohm 5% 0.25W	135-796	0,02 €	0,11 €	4	0,08 €	0,42 €	425%	
R3,R6,R7	Res. 180ohm 1% 0.6W	148-326	0,02 €	0,17 €	3	0,06 €	0,51 €	750%	
R8	Res. 80ohm 0.1% 0.25W	754-6963	0,41 €	0,77 €	1	0,41 €	0,77 €	88%	
R9	Res. 40ohm 0.1% 0.25W	754-5721	0,42 €	0,77 €	1	0,42 €	0,77 €	84%	
R10	Res. 20ohm 0.1% 0.25W	754-8805	0,59 €	0,77 €	1	0,59 €	0,77 €	31%	
R11	Res. 10ohm 0.1% 0.25W	137-2768	0,42 €	0,68 €	1	0,42 €	0,68 €	61%	
R13,R14,R15,R16	Res. 10kohm 5% 0.25W	125-1153	0,06 €	-	4	0,24 €	-	-	Fora d'estoc
R13,R14,R15,R16	Res. 10kohm 5% 0.25W	707-7745	-	0,20 €	4	-	0,82 €	240%	Substituitiu
R12	Boums PTA4543-2015DPB103 10kOhms	737-7789	1,23 €	2,35 €	1	1,23 €	2,35 €	91%	
	Fabricació PCB	Dirty PCBs / CISA S.A.	4,00 €	29,24 €	1	4,00 €	29,24 €	631%	
TOTAL						33,02 €	75,41 €	▲ 128,38%	

Taula 7.4.1. Evolució del preu dels components.

Notis com s'han substituït uns components. Aquests canvis venen donat per l'efecte de falta d'estoc de material electrònic derivat de la pandèmia. Més concretament es tracta de les referències 135-803 per la 148-326 (R3, R6 i R7 de 180 Ohms 1% 0.6W) i de la 125-1153 per la 707-7745 (10 kOhms 5% 0.25W). De la mateixa manera també es pot observar un auge considerable dels costos d'aquests components electrònics, que fan encarir el disseny del *launchpad* en un **128,38 %**. Aquest increment del preu dels components s'ha degut principalment a la pandèmia de Covid-19 que va afectar contundentment de l'any 2021 al 2023 amb especial afectació a les línies de subministrament mundials i al haver pujat els preus de fabricació de PCB de 4€ a 29,24€ (canviant el proveïdor de Dirty PCBs a CISA CIRCUITOS IMPRESOS, S.A.).

8. Creació dels 5 prototips finals.

Amb els *gerbers*, el proveïdor CISA: CIRCUITOS IMPRESOS, S.A. va confirmar el bon disseny donant el seu vistiplau. Finalment l'empresa va enviar les següents fotografies per tal de re-confirmar el disseny enviat per part del creador, per a no deixar-se res abans de llençar l'ordre de fabricació. A partir d'això i haver acordat el preu com s'ha vist a l'anterior apartat, s'ha procedit a fabricar les 5 PCBs de Rev.1 i a soldar-hi els components després.

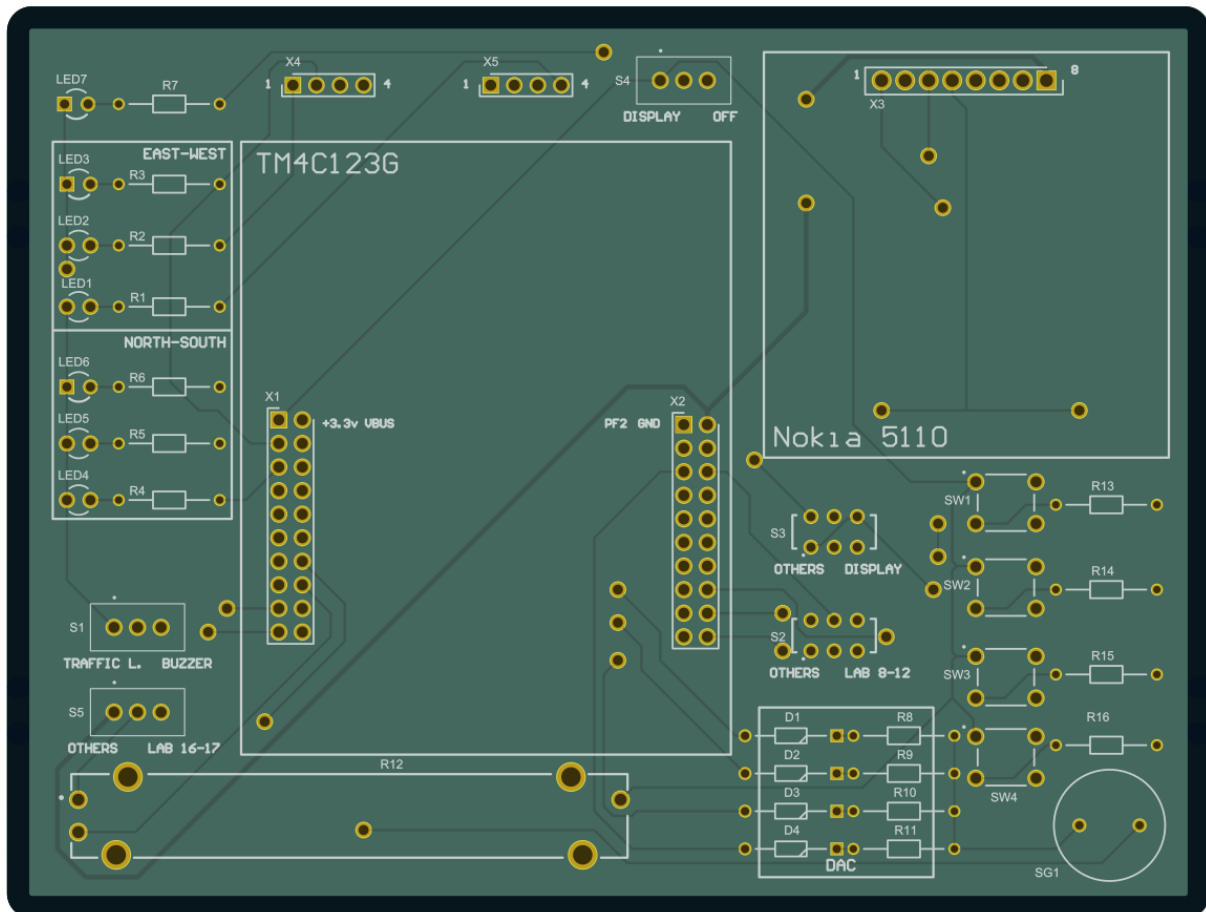


Figura 8.1. Confirmació del disseny de la PCB a fabricar, cara superior.

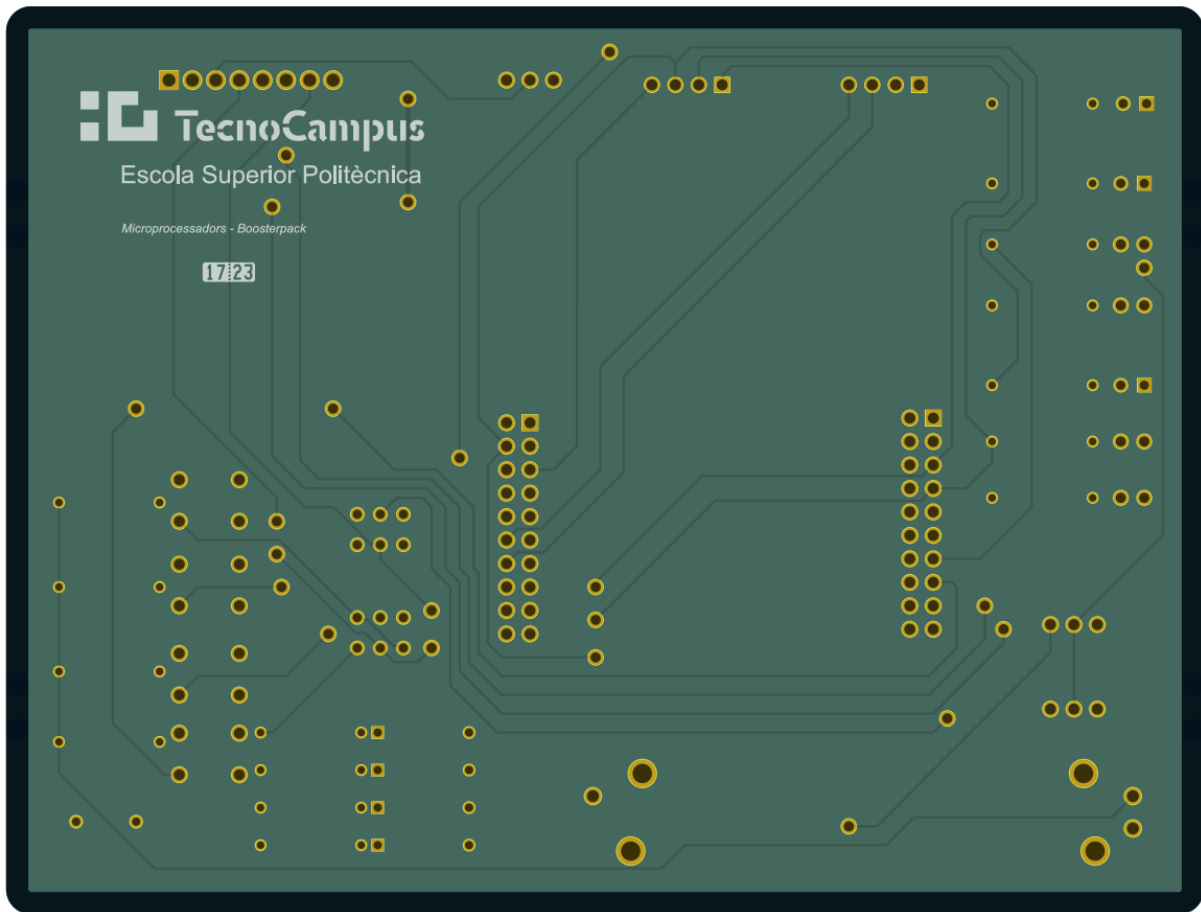


Figura 8.2. Confirmació del disseny de la PCB a fabricar, cara inferior.

Notis com s'han enviat a fabricar els *gerbers* (inclosos a l'apartat 7.3.2.) amb els arxius d'origen del projecte però no s'hi ha inclòs els arxius d'*assembly*, es a dir, no s'hi ha inclòs la informació dels components. Això és degut a que el muntatge dels components el fa l'alumne per la seva banda.

La tirada de 6 plaques va arribar el dia 5 de maig del 2023 i es va comprovar com les pistes estaven ben fetes i no comptaven amb curtcircuits.



Figura 8.3. Recepció de l'embolcall de les 6 PCBs

El soldatge de components es compon de diverses fases. Primerament es col·loca el component desitjat sobre la PCB (al seu torn fixada a una taula de treball). Llavors, s'aplica pasta de flux per a soldatge amb un pinzell. Un cop el flux està aplicat sobre els pins del component i els forats de la PCB, el component es manté en posició vertical mentre amb la mateixa mà s'aplica l'estany i amb l'altre es passa el soldador. Un cop aquesta primera soldadura bloqueja la posició del component respecte la placa, ja es pot col·locar la PCB en una posició de treball més accessible sense fixar la seva posició amb la mà i es solda la resta de pins del component a la PCB procurant no sobreescalfar-la. A continuació es mostra el procés amb fotografies per a comprendre'l millor.

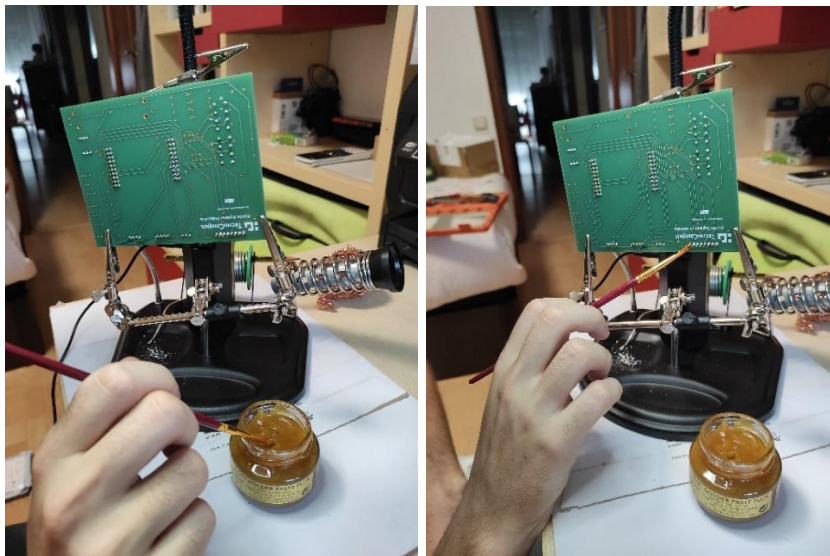


Figura 8.4. Aplicació de flux sobre *boostpack*.

És important aplicar pasta de flux sobre els pins dels components i forats de la placa per tal de facilitar la tasca de soldatge posterior.

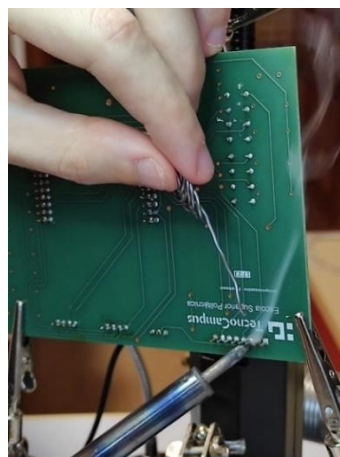


Figura 8.5. Soldadura dels pins dels components del *boostpack*.

El procés de soldadura es realitza amb una aliatge de 60% estany i 40% plom i flux i un soldador de punta fina amb una temperatura superior als 300 °C. S'ha d'anar amb compte de no sobreescalfar els components si bé no fa falta massa cura, ja que són tots components passius. Si fossin microxips s'hauria d'anar amb molta més precaució.

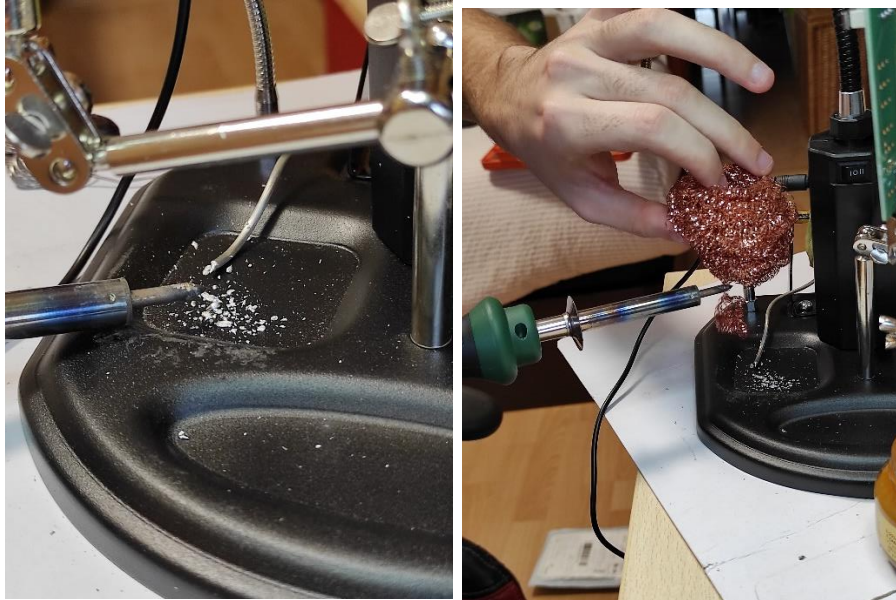


Figura 8.6. Soldadura dels pins dels components del *boosterpac*.

La neteja de la punta del soldador és una part essencial del procés de muntatge i soldadura dels components. Amb aquest, es manté la punta neta, lo qual contribueix en fondre més fàcilment l'estany. Per a tal tasca es poden realitzar cops sobre una superfície dura, rascar el soldador en ferradures de metall tipus fregall o fins i tot posar la punta del soldador dins el pot de flux.

Finalment, s'aplica una solució de d'alcohol etílic 70° per tal de treure el residu del flux ja cremat de la superfície de la PCBA. Es frega l'esperit de vi aplicat amb uns pinzells no electroestàtics amb determinació fins a enretirar la majoria de resta de flux.



Figura 8.7. Estris emprats per a l'eliminació de la resta de flux.

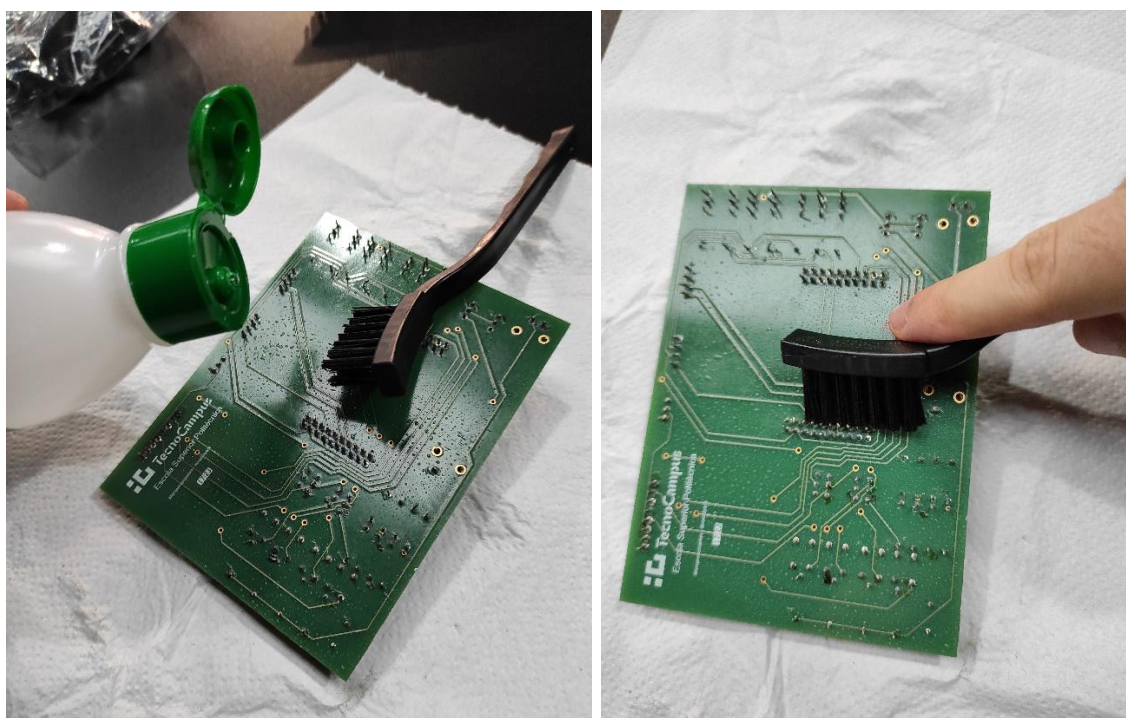


Figura 8.8. Aplicació de l'alcohol 70° Sobre una de les PCBA i fregar amb raspall.

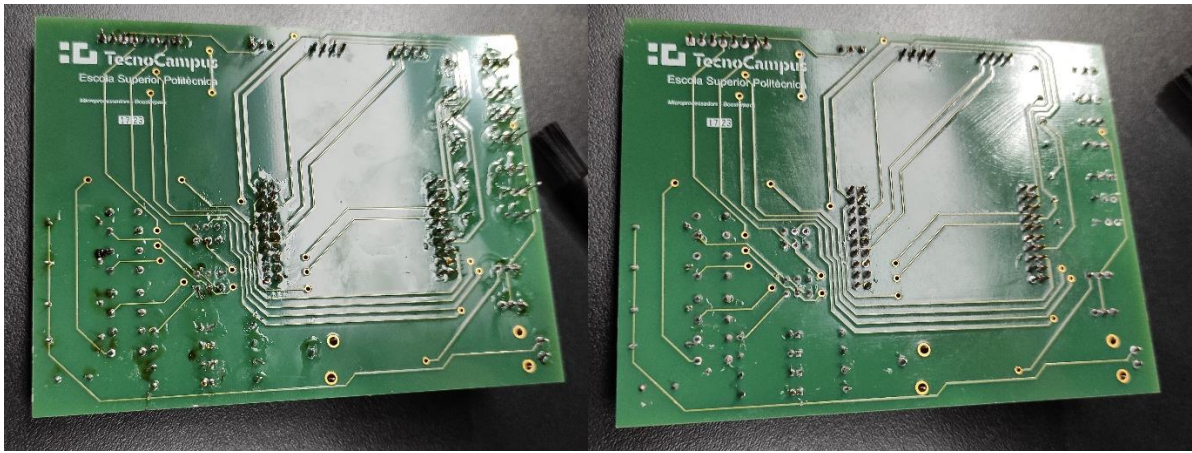


Figura 8.9. Comparació del flux restant abans i després de l'aplicació d'alcohol.

Es pot observar a l'anterior comparació com el flux es redueix força, que es lo que s'esperava d'aquest procediment, si bé no s'aconsegueix eliminar-lo del tot degut a que no es un dissolvent prou potent. S'ha d'aclarir que s'ha escollit l'alcohol etílic degut a la seva assequibilitat i a que no es volia aplicar mètodes més agressius.

A continuació es presenta l'aspecte final d'un *boostercap* acabat. Notis com en el primer prototip realitzat s'hi inclou un pont a D2 per curtcircuitar-lo, ja que es va fer servir com a primera prova de funcionament i el dessoldatge de D2 i substitució va valorar-se massa complicada. De la mateixa manera, sobre la primera prova es poden veure unes marques blanques superficials sobre alguns llocs de la placa degudes a l'aplicació de pinces de subjecció sense motllura.

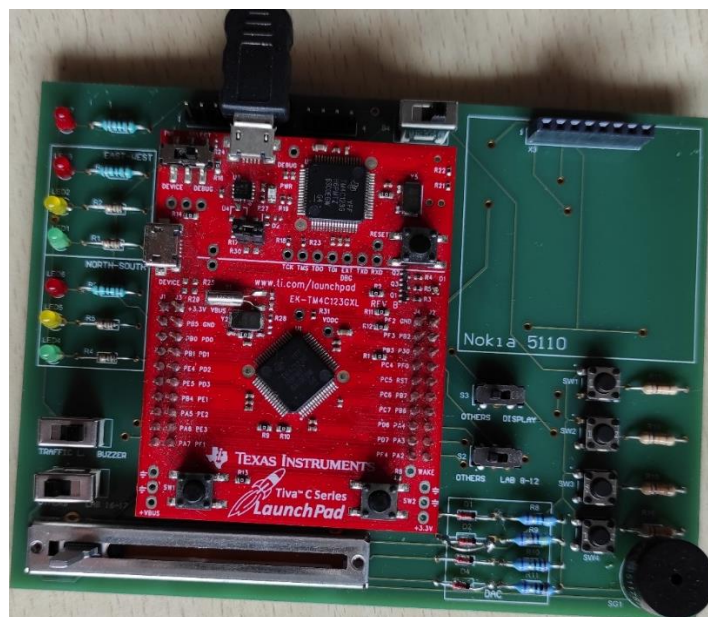


Figura 8.10. Part frontal del primer *boostercap* acabat.

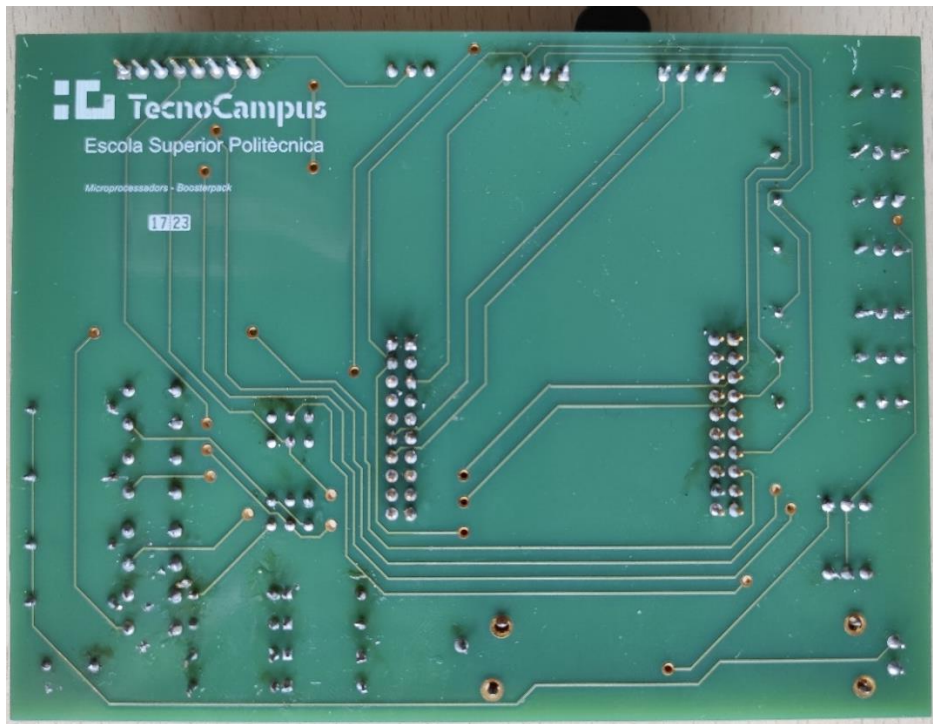


Figura 8.11. Part de darrere del primer *boosterpack* acabat.

Notis a les cantonades superiors de l'anterior figura les marques blanques deixades per les garres.

Un cop es comprova el funcionament de la primera PCBA, es passa a realitzar el soldatge de la resta de PCBs. Es pot observar com n'hi ha una no soldada. Aquesta es correspon a la sisena unitat extra de PCB rebuda per la qual no es té components ja que no es van presupostar.

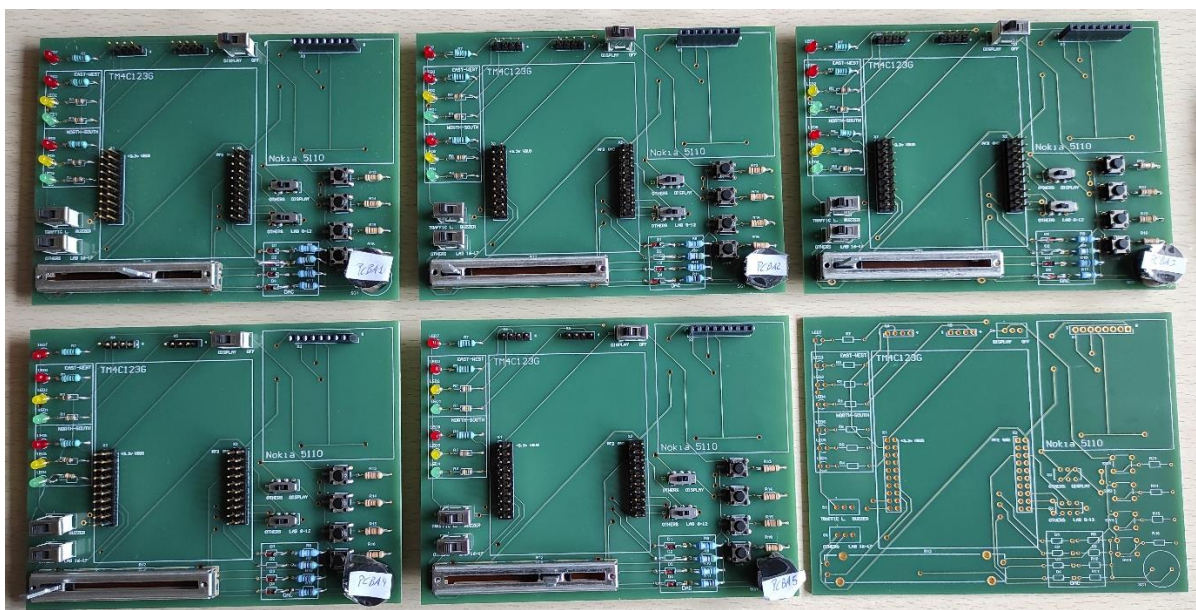


Figura 8.12. Vista frontal de les 5 PCBAs i la PCB sobrant.

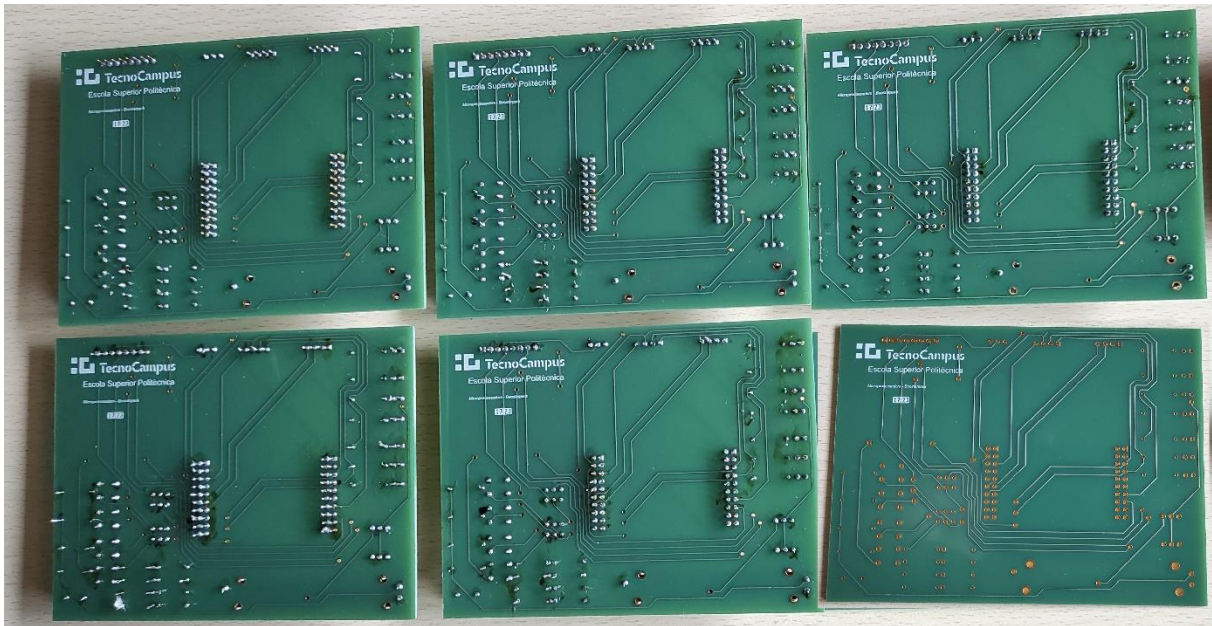


Figura 8.13. Vista de darrere de les 5 PCBAs i la PCB sobrant.

Notis com s'ha etiquetat temporalment les diverses PCBAs sobre el brunzidor per poder facilitar la tasca de comprovació de les seves funcionalitats.

Noms Pràctiques Dr. J. Valvano	PCBA1	PCBA2	PCBA3	PCBA4	PCBA5
LAB 2 - Hello launchpad	-	-	-	-	-
LAB4 - Switches and LEDs	-	-	-	-	-
LAB5 - Functions in C	-	-	-	-	-
LAB6 - Branching Function Delays	-	-	-	-	-
LAB7 - Heart Block	-	-	-	-	-
LAB8 - Switch LED interface	SI	SI	SI	SI	SI
LAB10 - Traffic Light	SI	SI	SI	SI	SI
LAB11 - UART	-	-	-	-	-
LAB12 - Turning Fork	SI	SI	SI	SI	SI
LAB13 - DAC	SI	SI	SI	SI	SI
LAB14 - Distance	SI	SI	SI	SI	SI
LAB19 - NOKIA 5110	SI	SI	SI	SI	SI

Taula 8.1. Comprovació del funcionament de totes les PCBAs amb els diferents LABS.

Observis com les caselles en blanc (amb guionet “-“) es tracta de pràctiques que no requereixen del *boostpack* per a funcionar. Finalment, com que s'ha pogut comprovar el funcionament de tots els LABS sobre les 5 PCBAs fabricades, es poden entregar sense problemes al Tecnocampus i es marca el present apartat com a complert.

8.1. Valoració i millores a futur.

A part del funcionament dels laboratoris, hi ha altres paràmetres de valoració. Pel que fa a la construcció de les PCBs, es té un conjunt resistent i net amb un disseny de pistes bo. Si ens fixem en la feina realitzada de soldadura, tampoc hi ha problemes a ressaltar a part de les restes de flux a la cara de sota de les PCBAs. Amb la distància entre components també es té que tot encaixa correctament. En aquests tres aspectes es pot dir que s'ha acomplert lo desitjat.

Els principals problemes que presenten els prototips són els següents:

- Algun interruptor va menys dur que d'altres, lo qual pot comportar problemes de connexió a futur. (Error de fabricant/proveïdor).
- No s'ha pensat en realitzar una funda de metacrilat posant forats passants a la PCB, lo qual resta versatilitat i protecció al disseny.
- D2 s'ha de substituir per un curtcircuit. (Modificació de disseny i BOM).
- Al no haver tingut en compte el laboratori creat per en Marc Vigatà, es té que hi ha col·lisió entre els el connector X4 i el cable USB de debuggat de la placa TM4C. Això no és catastròfic ja que no es tenia en consideració a l'abast i a més a més es pot arribar a fer el laboratori pujant el programa a la placa per després desconnectar el cable micro-USB del debuggatge i connectar-lo al port USB de "DEVICE" del propi *launchpad*, deixant espai per a connectar el motor a X4. L'inconvenient és que cada cop que es vol carregar un nou programa a la placa, s'ha de desconnectar X4 i reconnectar l'USB a *debug*.

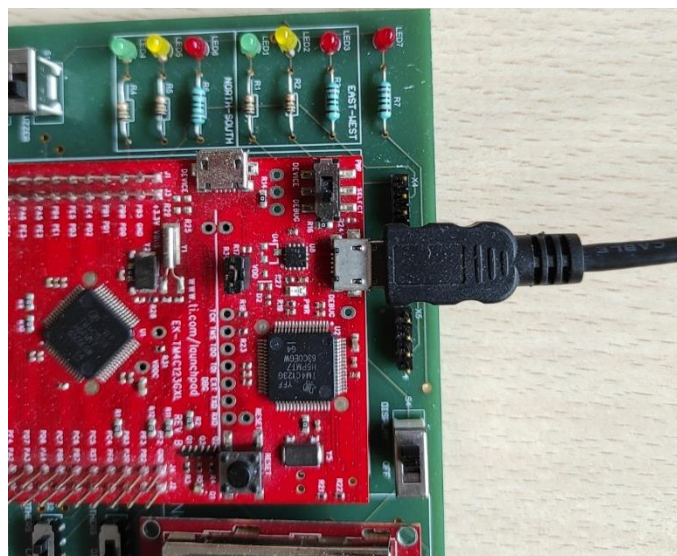


Figura 8.1.1. Col·lisió entre X4 i USB.

9. Documentació de les pràctiques de Microprocessadors.

A continuació s'afegeix tota la documentació de les pràctiques de l'assignatura de Microprocessadors del grau d'enginyeria electrònica industrial i automàtica. La seva estructura segueix normalment una llista de hardware a emprar, un anunciat on s'inclouen unes explicacions sobre el funcionament general que s'ha d'aconseguir a la pràctica amb el codi realitzat per part de l'estudiant, una guia per comprovar el correcte funcionament de la pràctica sobre el hardware (per exemple, un enllaç a un vídeo a internet o una taula de veritat) i una solució del codi per escrit.

És necessari esmentar que si bé el Dr. Valvano ja va escriure els processos de validació dels laboratoris amb uns procediments creats per ell mateix, en algunes de les pràctiques aquí presentades no s'han emprat ja que tenen diversos desavantatges (per exemple, que emprar el *grader* del *Keil* sobre el hardware real fa consumir recursos del propi micro-processador, afegint retards i per tant problemes en diverses d'elles).

Noms Pràctiques Dr. J. Valvano	Esquemàtica	Practica comprovada	Ja venia feta?	Vídeo	Documentació pràctica	Feta per en Marc Vigatà	Avaluades a Micros
LAB 2 - Hello launchpad	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
LAB4 - Switches and LEDs	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO
LAB5 - Functions in C	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO
LAB6 - Branching Function Delays	SI	SI	NO	SI	SI	GRIS	SI
LAB7 - Heart Block	SI	SI	NO	SI	SI	GRIS	SI
LAB8 - Switch LED interface	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI
LAB9 - Functional debugging	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
LAB10 - Traffic Light	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI
LAB11 - UART	-	SI	NO	SI	SI	GRIS	SI
LAB12 - Turning Fork	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI
LAB13 - DAC	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI
LAB14 - Distance	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI
LABX1 - Motors Pas a pas	-	-	-	-	NO	SI	NO
NOVA PRACTICA - NOKIA 5110	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO (FINS ARA)

Taula 9.1. Comparació d'utilització de les pràctiques d'en J.Valvano.

Notis com moltes pràctiques es poden realitzar tant en software sense emprar el *launchpad* i amb *grader* integrat com sobre la placa i hardware. Normalment es recomana *debuggar* les pràctiques en software ja que en cas d'errors el *grader* avisa d'on pot estar l'error en el codi. Un cop ja es té una qualificació del *grader* de 100, es pot passar a hardware per comprovar el funcionament físic del programa creat. Per tal de canviar entre software i hardware s'ha d'anar a Project > Options for Target 'IO'... i canviar entre Use Simulator i "Use > Stellaris ICDI" dins la pestanya "Debug". A continuació s'adjunten les figures per a fer més gràfic el procés.

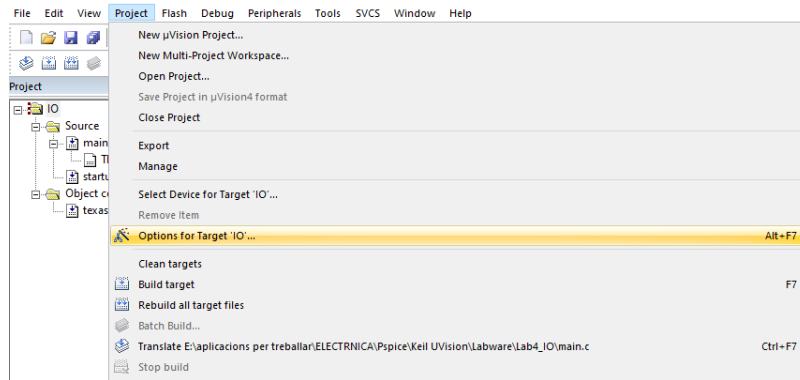


Figura 9.1. Selecció d'Options for Target.

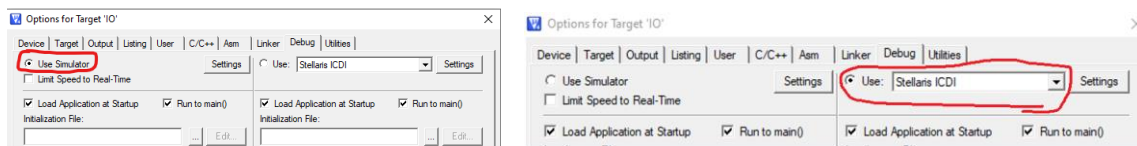


Figura 9.2. Diferència de selecció entre debug per Software (esquerra) i Hardware (dreta).

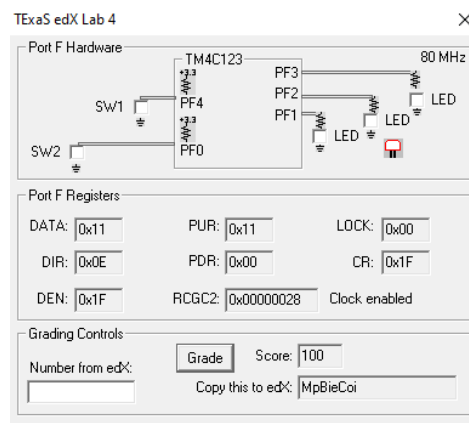


Figura 9.3. Grader que apareix al debuggar per software.

Si no apareix el *grader* al *debuggar* per software, s'ha de fer aparèixer fent click a Peripherals>TExaS Port F.

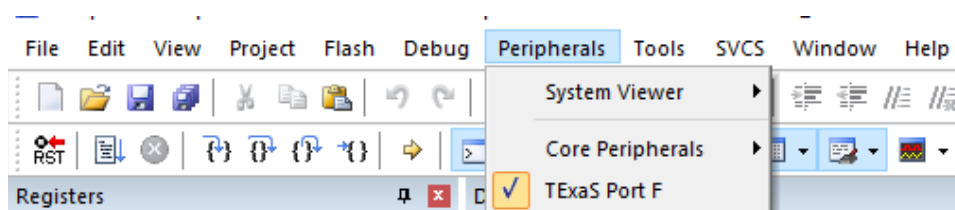


Figura 9.4. Selecció del *gradder*.

La configuració de *switches* per a les diverses pràctiques de laboratori al *boosterpck* són les següents:

Switches	LAB6	LAB7	LAB8	LAB10	LAB11	LAB12	LAB13	LAB14	LAB19
S1			BUZZER	T.LIGHT		BUZZER	BUZZER	BUZZER	BUZZER
S2			LAB 8-12	OTHERS		LAB 8-12	OTHERS	OTHERS	OTHERS
S3			OTHERS	OTHERS		OTHERS	OTHERS	DISPLAY	DISPLAY
S4			OFF	OFF		OFF	OFF	DISPLAY	DISPLAY
S5			OTHERS	OTHERS		OTHERS	OTHERS	OTHERS	OTHERS

Taula 9.2. Configuració dels *switches* al *boosterpck* per als diferents laboratoris.

9.1. Documentació de les pràctiques LAB0 – LAB19.

S’ha realitzat la documentació per a realitzar les sessions del laboratori de totes les pràctiques (excepte la dels space invaders i la nova creada per en Marc Vigatà de motor pas a pas). Al comptar amb una llargada d’unes **85 pàgines**, s’ha decidit posar-ho tant com a l’**Annex 6 – Documentació de les pràctiques** com penjar-ho on-line al google drive, per tal de poder ser accessible per tothom, amb especial previsió per a la fàcil descàrrega dels futurs alumnes de l’assignatura de microprocessadors. L’enllaç dels arxius és el següent:

https://drive.google.com/file/d/1kKV88Dr8cAgcaGilbPoSIPwqcmPBw_8V/view?usp=sharing

Dintre s’hi troba documentació en PDF de totes les pràctiques individualment, sense versió de codi. A més, se li fa entrega al tutor de la versió de codi per a que l’administri de cara a les pràctiques que es compliquin massa. Un document amb recopilació de totes les pràctiques (també amb o sense solució) on s’hi inclou a més una petita llista de possibles problemes amb les pràctiques (apartat “2. Comentaris i resolució d’errors extra sobre les pràctiques.”).

A més, s’afegeix un fitxer Word de cadascuna de les pràctiques per si en el futur algú vol aprofundir en la documentació o amagar-hi informació.

Com a informació addicional, el lab15 - SpaceInvaders (que no estava previst provar) funciona correctament com es pot veure en el següent vídeo, lo que indica que els *boosterpacks* es poden emprar per a la dita pràctica:

<https://youtube.com/shorts/Espi2vSZGQU?feature=share>

La configuració de *switchs* és la mateixa que per al *lab* 14.

10. Pràctica LAB19.

Aquest apartat es farà servir per crear la pràctica LAB19 tot seguint la metodologia TOP-DOWN.

Recordem que els objectius principals d'aquesta pràctica, establerts als objectius tècnics són:

- Especificació 1. Començar traient píxels, després caràcters i després *strings* a la pantalla
- Especificació 2. Incorporar informació en temps real a la pantalla.
- Especificació 3. Documentació, anunciat i guia de la pràctica.
- Especificació 4. Solució incorporada com a codi.

Es proposa, doncs, fer una nova pràctica abans de la pràctica Lab 14 (Distancia) per tal que els estudiants es puguin familiaritzar amb el funcionament de la pantalla abans d'emprar-la.

10.1. Desenvolupament del LAB19.

A partir del *launchpad* amb el *boosterpack* i la pantalla Nokia 5110 connectats, es vol tenir a mà un codi inicial que compti amb el fitxer Nokia5110.c i Nokia5110.h. Poc a poc es vol anar introduint diversos conceptes a l'estudiant.

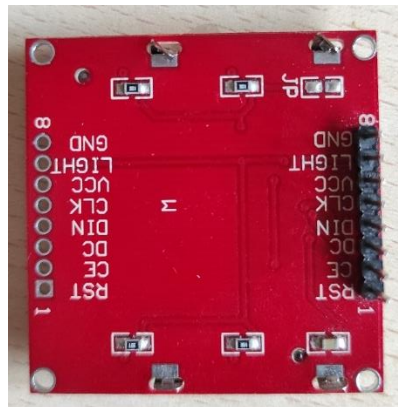


Figura 10.1.1. Pins presents a la pantalla Nokia5110.

Tot seguint la metodologia Top-Down, es desenvolupa un disseny d'alt nivell per a la nova pràctica, resumida en el següent esquema:

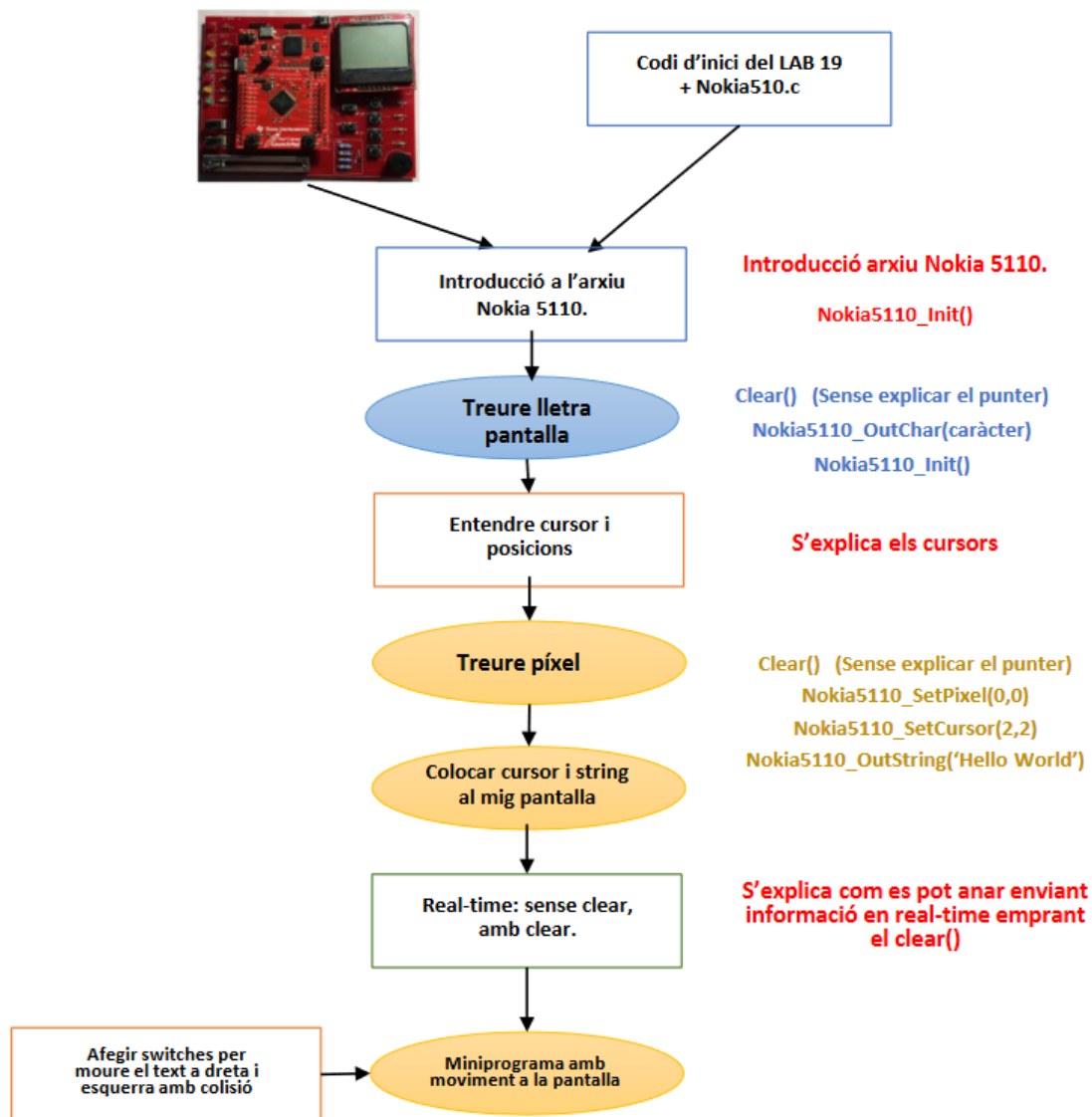


Figura 10.1. Diagrama de flux de les etapes del lab 19.

Aquesta és una pràctica que s'hauria de realitzar abans del laboratori 14 (mesurament de distàncies), ja que l'ordre actual de les pràctiques pot fer-se complicat per alguns estudiants al introduir les pantalles sense explicar primer el seu funcionament.

S'ha de tenir en compte que al estar seleccionat S3 com a "DEVICE", no es poden emprar els botons del *launchpad*, ja que comparteixen connexió i fan mal funcionar la pantalla Nokia 5110.

Les 2 primeres aplicacions a realitzar són molt guiades i senzilles. La tercera és una mica més complicada i s'ha hagut de realitzar un esquema del seu funcionament. Aquest es troba a l'anunciat del LAB19.

10.2. Llista de Hardware necessari per al LAB19.

- Ordinador amb port USB, amb Keil uVision correctament instal·lat i amb els ports preparats.
- Fitxer LabX.uvproj dins de l'enllaç donat al següent apartat.

Notis que aquesta pràctica es pot realitzar sense problema dins del *gradder* inclòs al *Keil*. Si per el contrari es volgués emprar hardware, a la llista de hardware necessari s'hi hauria d'afegir:

- Cable USB a mini-USB.
- Targeta Tiva TM4C123G o similar.
- *Boosterpack*.
- Pantalla Nokia 5110

10.3. Anunciat del LAB19.

En aquesta pràctica s'introdueix l'estudiant al funcionament de la pantalla Nokia 5110 per tal d'aprendre a fer-la servir d'una manera gradual i senzilla.

Primerament s'ha de descarregar el projecte .uvproj inicial des del següent enllaç (el fitxer .uvproj inclou indicacions dels passos a seguir):

https://drive.google.com/file/d/1-TO-c6IIZ6wL1KUuDBzwhJI_27AiP8sU/view?usp=share_link

És molt important tenir l'arxiu tm4c123gh6pm.h dins la carpeta del projecte. Si no, no funcionarà el programa.

Abans de començar s'ha d'entendre el fitxer Nokia5110.c present al fitxer de projecte obert. Aquest *script* funciona de llibreria de la pantalla Nokia 5110. Dins s'hi troben les funcions i instruccions necessàries per fer funcionar la pantalla. Les més importants serien les següents:

- Nokia5110_Init() que inicialitza la pantalla LCD de 48x48 tot enviant les instruccions necessàries al controlador PCD8544.
- Nokia5110_OutChar(data) que imprimeix un caràcter a pantalla a la posició del cursor actual i actualitza el cursor a la següent posició. Notis com al LCD caben 12 caràcters per fila.
- Nokia5110_OutString(*ptr) imprimeix llista de caràcters a la pantalla.

- Nokia5110_Clear() neteja la pantalla de qualsevol caràcter.
- Nokia5110_DrawFullImage(bitmapDe505bytes) imprimeix a la pantalla imatge completa.
- Nokia5110_SetPixel(x,y) encén el píxel especificat amb coordenades.
- Nokia5110_ClearPixel(x,y) apaga el píxel especificat amb coordenades.
- Nokia5110_SetCursor(newX,newY) estableix nova posició per el cursor.
- Nokia5110_DisplayBuffer() per ensenyar a pantalla que hi ha al buffer 'esperant'
- Nokia5110_ClearBuffer() per netejar el Buffer d'informació antiga

A més, cal tenir en compte que la pantalla compta amb 5 columnes i 11 files (per a caràcters). Notis que hi ha 7 píxels per caràcter.

Ara que ja s'han vist les diverses funcions de la pantalla, es procedeix a aplicar-ne algunes sobre hardware. Primerament es configura el *boosterpack* per poder connectar-hi la placa. Això correspon a les següents posicions dels *switches*.

Switches	LAB19
S1	-
S2	OTHERS
S3	DISPLAY
S4	DISPLAY
S5	OTHERS

Taula 10.3.1. Connexió dels commutadors al *boosterpack* per al lab 19.

La primera aplicació que es veurà és la de treure un missatge a pantalla. Per a tal efecte es fa servir la instrucció **Nokia5110_OutChar**(caràcter). S'ha d'establir el caràcter ASCII a escriure com a text, es a dir, entre cometes ''. El propi codi proporcionat ha d'incorporar primer un `Nokia5110_Init()` i `Nokia5110_Clear()` d'aquesta manera s'inicialitza la pantalla primer i es borra tot lo que hi havia escrit anteriorment, abans de treure qualsevol tipus d'informació. Al fer funcionar el programa sobre el hardware, s'hauria de poder veure el missatge escrit a la pantalla. Al codi del projecte, ja deuria d'estar escrita l'ordre d'instruccions per tal d'agilitzar el procés. Aquests es troben dins la funció `main1()`, que s'haurà de convertir en la `main()`. A continuació, s'afegeix una imatge de l'aspecte resultant a la pantalla un cop es fa córrer el programa:

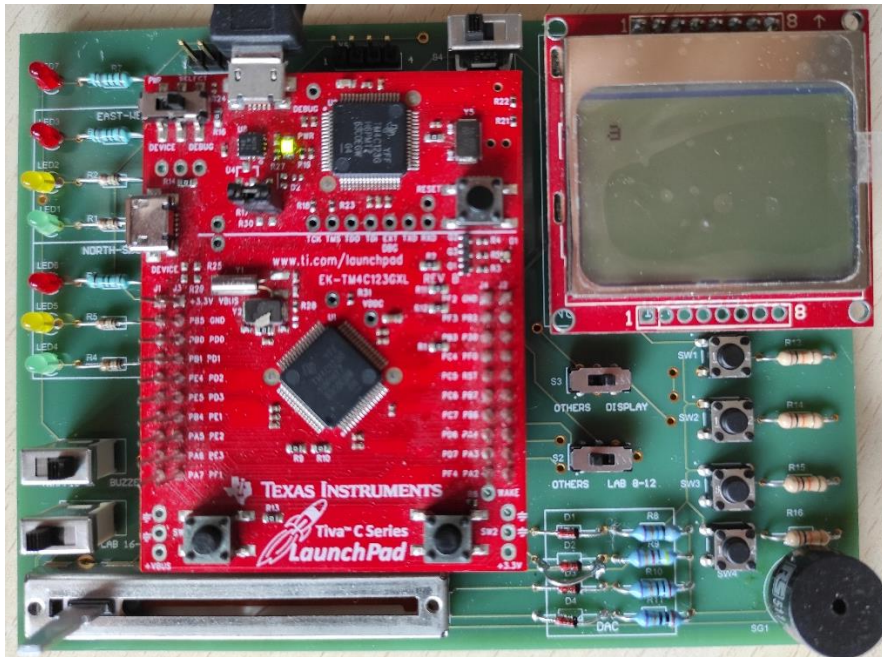


Figura 10.3.1. Exemple de la primera part del programa.

Un cop ja s'ha comprovat que funciona correctament la pantalla i s'ha après a fer anar els missatges, es procedeix a aprendre a treure píxels individuals, a moure el cursor i col·locar un *String* al mig de la pantalla. Primerament, es treu un píxel a la posició (0,0), es a dir, a dalt de tot a l'esquerra de la pantalla. Això es realitza amb 3 funcions diferents. Una és la creació del píxel amb `Nokia5110_SetPixel(0,0)`. Aquesta el crea i emmagatzema al *buffer* de la pantalla, així que per a carregar-lo a la pantalla pròpiament dita des del *buffer*, es fa servir la instrucció `Nokia5110_DisplayBuffer()`. De pas, s'aprèn la instrucció `Nokia5110_ClearBuffer()` que serveix per borrar els continguts del buffer que són ja antics, per poder substituir-los posteriorment per continguts nous.

Pel que fa a treure *strings* per pantalla amb la instrucció `Nokia5110_OutString(Missatge)`, aquests es poden omplir amb un text dins de cometes "", tot i que deixen anar una advertència. La manera de fer-ho correctament és posant-ho com a *unsigned char* al ser declarats. A més, no admeten assignació de valors un cop ja estan declarats. Per a evitar advertències, es poden declarar i definir tal i com indiquen les imatges a continuació:

```
char c[5] = {'a', 'b', 'c', 'd', '\0'};
```

Figura 10.3.2. Declaració i assignació de valor (correcta) dels *Strings* en C.

```
char c[100];
c = "C programming"; // Error! array type is not assignable.
```

Figura 10.3.3. Declaració i assignació de valor a un *String* (potencialment incorrecta) en C.

Un exemple de missatge que es pot imprimir podria ser “Hello World”, però es deixa llibertat a l’alumne. L’última indicació en aquesta segona part és sobre aquesta *string* és que s’ha de col·locar a una posició inferior al píxel inicial, per no tapar-lo. Fins ara no ens hem molestat en la posició del text perquè només imprimíem un missatge alhora, però quan se’n volen mostrar diversos a la plegada, s’ha de canviar el cursor. Això s’aconsegueix amb la instrucció `Nokia5110_SetCursor` (Considerar que a la pantalla hi caben un màxim de 5 files i 11 columnes a omplir amb caràcters). A continuació es posa una foto de que hauria de sortir per pantalla al fer córrer el programa sobre el *launchpad*.

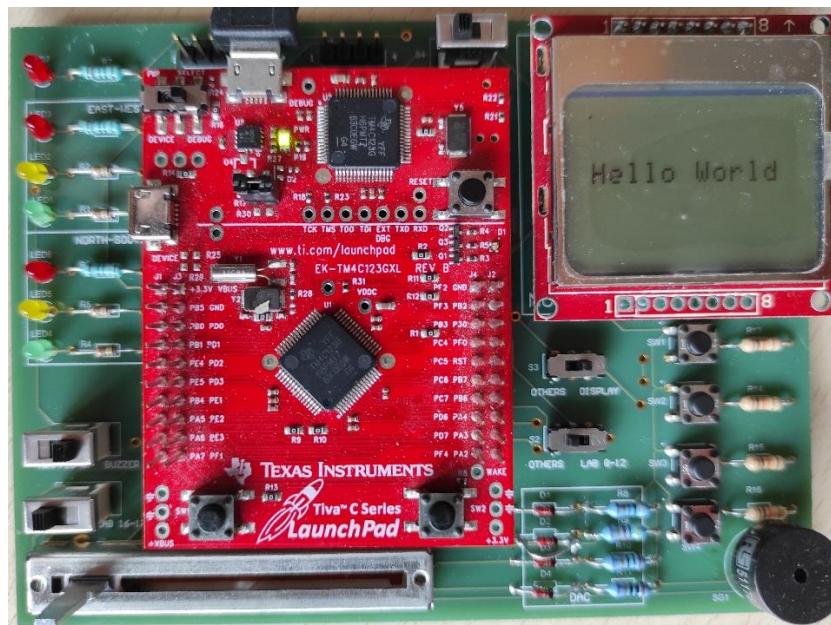


Figura 10.3.4. Exemple de la segona part del programa.

Per últim, es realitza un últim programa una mica més complicat i difícil. Serà una espècie de joc ‘Snake’ però molt simplificat. Quan s’iniciï el programa es mostrarà un missatge de “Starting Snake”. Al cap d’1 segon, s’esborra el missatge i es crea un píxel al bell mig de la pantalla. Al fer clic al SW1 del propi *launchpad*, el píxel saltarà una posició a l’esquerra, fent l’inrevés a la dreta amb el botó SW2. Quan s’arribi a la cantonada de la pantalla, s’esborra la pantalla i s’ha d’escriure un missatge de “Game Over” a la pantalla. Tot seguint la metodologia Top-Down, es desenvolupa la solució algorítmica de la nova pràctica, resumida en el següent esquema:

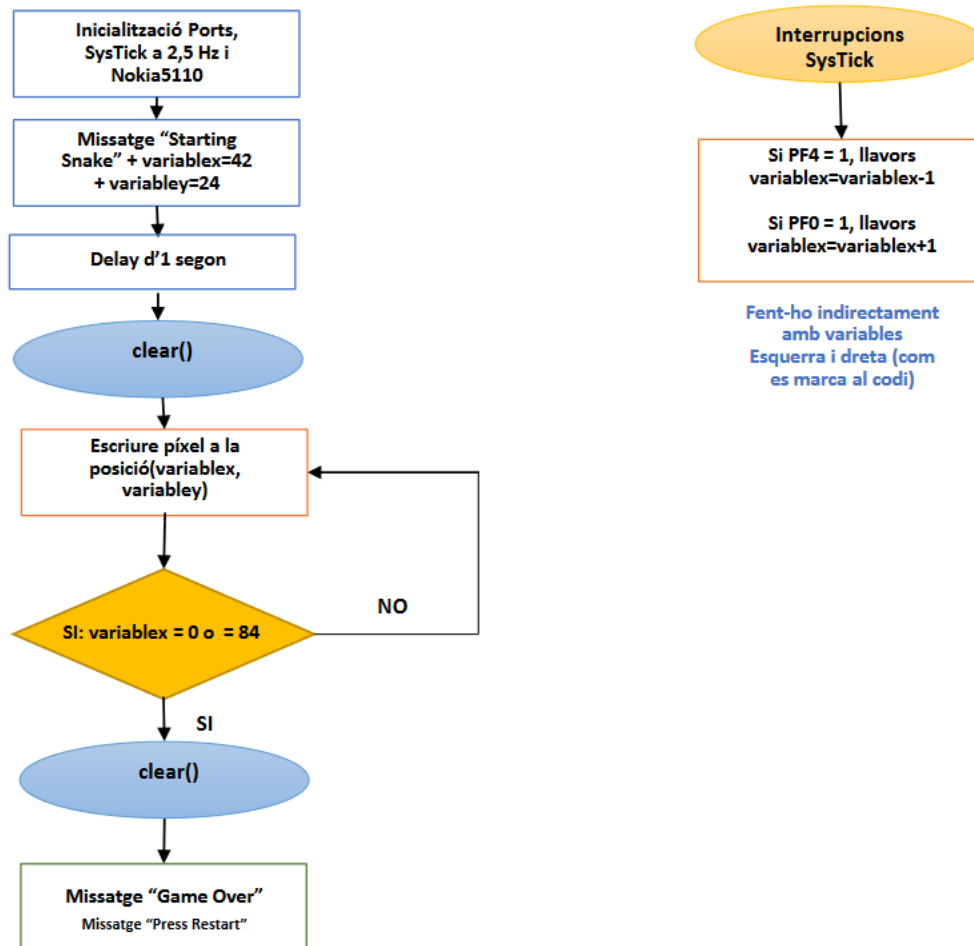


Figura 10.3.5. Esquema de funcionament de la tercera aplicació del LAB19.

A partir de l'esquema donat i les instruccions escrites dins de l'*script main.c* s'hauria de poder realitzar el programa sense problemes. Recordant com realitzar *timers*, inicialització de ports, etc... A continuació es presenta la utilització de hardware per part del programa.

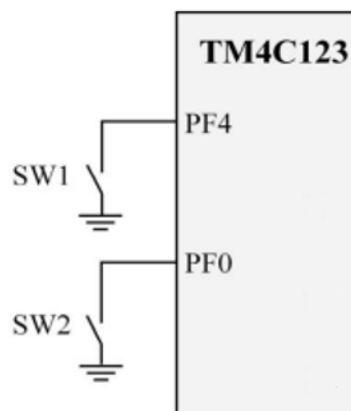


Figura 10.3.6. Hardware del *launchpad* emprat.

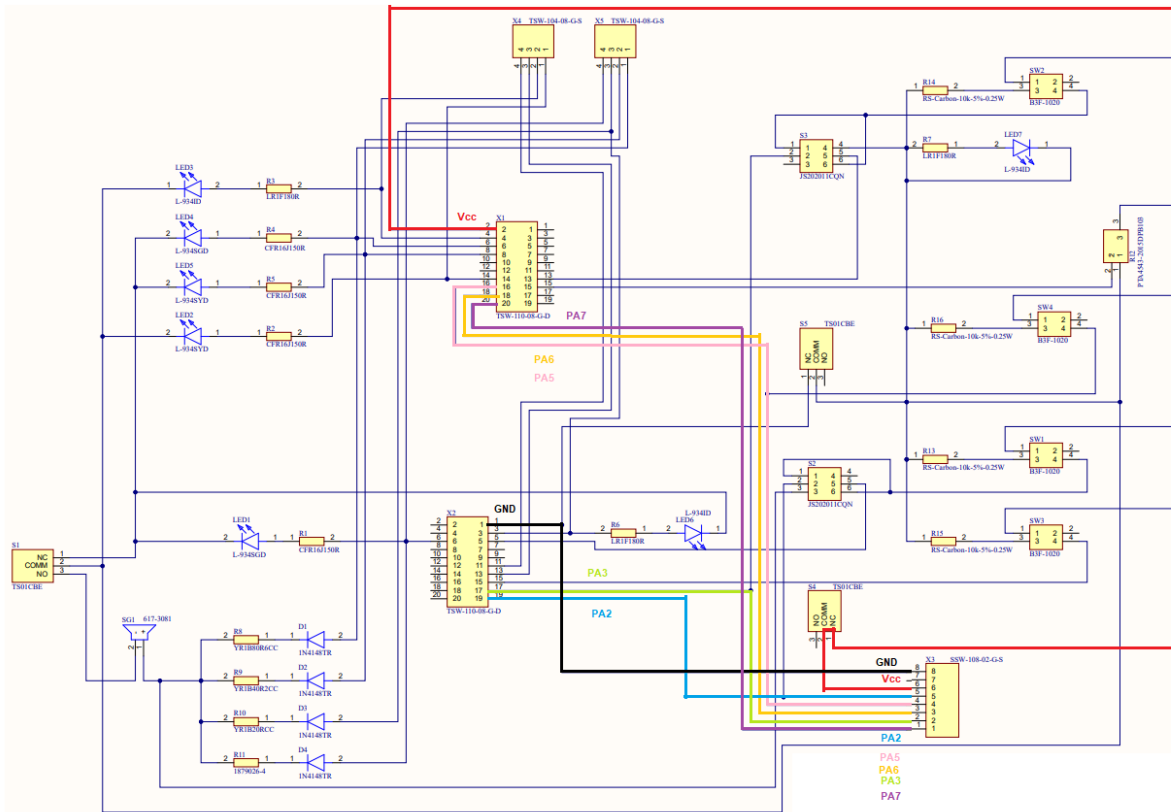


Figura 10.3.7. Hardware del *boosterpack* emprat.

10.4. Comprovament del LAB19.

La manera de comprovar si funciona bé el codi és únicament per hardware. De les 3 parts del LAB, les dues primeres ja s'ha vist la comprovació a l'anunciat en forma de fotos. A continuació es mostra un vídeo de com hauria de funcionar el tercer programa.

<https://youtu.be/9oMYfpugSg0>

10.5. Solució del LAB19.

La solució de codi de la pràctica es presenta a continuació:

```
// LAB19 - main.c
// Runs on LM4F120/TM4C123
// Use SysTick interrupts to periodically initiate a software-
```

```
// triggered ADC conversion, convert the sample to a fixed-
// point decimal distance, and store the result in a mailbox.
// The foreground thread takes the result from the mailbox,
// converts the result to a string, and prints it to the
// Nokia5110 LCD. The display is a must.
// January 15, 2016

/* This example DOES NOT accompanies the book
   "Embedded Systems: Introduction to ARM Cortex M Microcontrollers",
   ISBN: 978-1469998749, Jonathan Valvano, copyright (c) 2015
*/

//Esquema de connexió del display a l'anunciat de la pràctica
```

```
#include "../tm4c123gh6pm.h"
#include "Nokia5110.h"
#include "TEaS.h"
```

```
unsigned long Distance; // units 0.001 cm
unsigned long ADCdata; // 12-bit 0 to 4095 sample
unsigned long Flag; // 1 means valid Distance, 0 means Distance is empty
```

```
//-----PART 1-----
//Crear un caracter a la posició per default de la pantalla (0,0)
```

```
int main1(void) {
    Nokia5110_Init(); //Inicialitzem la pantalla Nokia 5110 amb la seva llibreria
    Nokia5110_Clear(); // Borrem la pantalla de missatges anteriors
    Nokia5110_OutChar('a'); //Es treu el caràcter a a la pantalla a la posició default
    while(1){
        //BUCLE INFINIT
    }
}
```

```
//-----PART 2-----
//Crear un pixel a la posició 0,0 i un string al mig de la pantalla
```

```
unsigned char Missatge[11] = {'H','e','l','l','o',' ','W','o','r','l','d'};
```

```
int main2(void) {
    Nokia5110_Init(); //Inicialitzem la pantalla Nokia 5110 amb la seva llibreria
    Nokia5110_Clear(); // Borrem la pantalla de missatges anteriors
    Nokia5110_SetPixel(0,0); //Possem un pixel a la cantonada de dalt a la dreta

    //(del buffer, no de la pantalla, els pixels es posen al buffer)
    Nokia5110_DisplayBuffer(); //Establim a la pantalla el contingut del buffer
    Nokia5110_ClearBuffer(); //Borrem els continguts del buffer (el nostre pixel (0,0))
    Nokia5110_SetCursor(0, 2); //Establim el cursor 2 files a sota
    Nokia5110_OutString(Missatge); //Impimim el nostre missatge de benvinguda a la nova posició del cursor

    while(1){
        //BUCLE INFINIT
    }
}
```

```

//-----PART 3-----
//Descriure el programa

unsigned long variablex = 42;           //comencem al mig de la pantalla (Horitzontal)
unsigned long variabley = 24;          //comencem al mig de la pantalla (Vertical)
unsigned int comptadorSystick=0;       //Control d'execució de SysTick

void SysTick_Init(unsigned long period){
    NVIC_ST_CTRL_R = 0;                 //Durant Setup es desactiva SysTick
    NVIC_ST_RELOAD_R = period-1;        //Periode introduït
    NVIC_ST_CURRENT_R = 0;              //any write to current clears it
    NVIC_SYS_PRI3_R = (NVIC_SYS_PRI3_R&0x00FFFFFF)|0x20000000; //priority 1 per a les interrupcions SysTick
    NVIC_ST_CTRL_R = 0x0007;           //Es fa córrer SysTick amb core clock i interrupcions
}

unsigned int esquerra;                 //input de PF4
unsigned int dreta;                    //input de PF1

void SysTick_Handler(void){
    esquerra = GPIO_PORTF_DATA_R&0x10; //PF4
    dreta = GPIO_PORTF_DATA_R&0x01;     //PF0
    if ((esquerra!=0)){                 //mentres no sigui zero
        variablex = variablex - 1;      //va a l'esquerra
    }

    if ((dreta!=0)){                   //mentres no sigui zero
        variablex = variablex + 1;      //va a la dreta
    }
    comptadorSystick=comptadorSystick+1; //variable de control per si
    // volem saber si estan saltant les interrupcions SysTick correctament.
    //A watch expression quan debuguem, hi posem comptadorSystick
    //Hauria d'anar sumant valors infinitament
}

void PortF_Init(void){ volatile unsigned long delay;
    SYSTCTL_RCGC2_R|=0x00000020;       // 1) PF clock
    delay = SYSTCTL_RCGC2_R;           // delay to allow clock to stabilize
    GPIO_PORTF_LOCK_R = 0x4C4F434B;    // 2) desbloqueja PortF PF0
    GPIO_PORTF_CR_R = 0x11;            // deixa modificar PF4-0
    GPIO_PORTF_AMSEL_R &= 0x00;        // 2) no funcions analogiques
    GPIO_PORTF_PCTL_R |= 0x11;         // 3) GPIO clear all the bits PCTL
    GPIO_PORTF_DIR_R &= ~0x10;         // 4.1) PF4 input,
    GPIO_PORTF_DIR_R &= ~0x01;         // 4.2) PF0 input
    GPIO_PORTF_AFSEL_R &= 0x00;        // 5) No alternate function
    GPIO_PORTF_PUR_R |= 0x11;          // 6) PF4 & PF0 pull-up registers
    GPIO_PORTF_DEN_R |= 0x11;          // 7) PF4 & PF0 digitals
}

// FUNCTION PROTOTYPES: Each subroutine defined
void DisableInterrupts(void);          // definim la desactivació d'interrupcions
void EnableInterrupts(void);           // definim l'activació d'interrupcions

void Delay100ms (unsigned long time){
    unsigned long i;
    while (time > 0) {

```



```

        i=1333333;      // aquest numero vol dir 100 ms mes o menys
        while (i>0){
            i=i-1;
        }
        time = time - 1; // decrementa cada 100 ms, tant numero de vegades com
                        //s'hagi marcat com a parametre
    }
}

int main(void){
    SysTick_Init(1000000); //reload value with 2.500.000/2,5Hz = 1.000.000 per a tenir els 2,5 Hz
    DisableInterrupts();  //desactivem interrupcions
    PortF_Init();         //Inicialitem port F (on hi ha els inputs)
    Nokia5110_Init();     // initialize Nokia5110 LCD (optional)
    Nokia5110_Clear();    //treiem tot lo que hi hagues a la pantalla
    Nokia5110_SetCursor(0, 0); //Cursor a l'inici de la pantalla
    Nokia5110_OutString("Starting"); //1era part missatge de benvinguda
    Nokia5110_SetCursor(0, 1); //continuació del missatge a la fila inferior
    Nokia5110_OutString("Snake:"); //2ona part missatge de benvinguda
    Delay100ms(5);        //delay de 3 segons
    Nokia5110_Clear();    //s'esborra el contingut de pantalla
    EnableInterrupts();   //activem interrupcions

    while((variablex!=0x00000054)&(variablex!=0x00000000)){ //si =0 o =84 (hexadecimal) llavors es trenca el bucle
        Nokia5110_SetPixel(variablex,variabley); //pixel segons variables al buffer
        Nokia5110_DisplayBuffer(); //es mostra el contingut del buffer a pantalla
        Nokia5110_ClearBuffer(); //s'esborra el contingut del buffer
    }

    Nokia5110_Clear(); //treiem tot lo que hi hagues a la pantalla
    Nokia5110_SetCursor(1, 1); //Cursor a l'inici-mig de la pantalla
    Nokia5110_OutString("Game Over"); //missatge de benvinguda
    Nokia5110_SetCursor(2, 2); //Cursor a l'inici de la pantalla
    Nokia5110_OutString("Press"); //missatge de benvinguda
    Nokia5110_SetCursor(2, 3); //Cursor a l'inici de la pantalla
    Nokia5110_OutString("Restart"); //missatge de benvinguda
    Delay100ms(10); //delay d'1 segon
}

```


11. Conclusions.

Per concloure el TFG, s'ha de ressaltar que s'han acomplert tots els objectius que hom s'havia plantejat durant el plantejament d'especificacions tècniques.

S'ha elaborat documentació per a totes les pràctiques de laboratori de l'assignatura de microcontroladors del grau d'Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica del Tecnocampus (LAB2 - LAB14). En dita documentació s'hi ha afegit la configuració en hardware a seguir amb i sense *boosterpack*, un vídeo demostratiu del funcionament, un anunciament per a l'alumne i una solució codificada a part (aquesta última en mans del professor).

Pel que fa a la generació de material hardware per a les pràctiques de l'assignatura, s'ha dissenyat, fabricat i muntat 5 plaques d'un disseny revisat del *boosterpack* solucionant els diversos problemes presents a l'anterior versió creada per en Marc Vigatà. S'ha generat la documentació suficient com per a que es pugui tornar a realitzar a posteriori, penjant els gerbers i BOM a un enllaç públic. S'ha justificat la seva utilització a l'assignatura i finalment s'ha elaborat un informe del cost unitari. L'únic comentari respecte a aquest disseny és que el D2 del *boosterpack* s'ha curtcircuitat al final per solucionar un problema d'última hora i en solucions futures s'hauria de tenir en compte, juntament amb d'altres millores a futur incloses dins l'apartat corresponent.

Per últim, s'ha muntat una última pràctica (LAB 19) per tal d'ensenyar a fer anar la pantalla Nokia 5110 als estudiants ja que fins ara, aquesta s'empra al LAB14 sense explicar el seu funcionament primer. La nova pràctica s'ha dividit en tres apartats per a anar aprenent a fer-la servir a poc a poc d'una manera clara i senzilla de seguir. Finalment, s'ha generat i penjat la documentació pertinent com si es tractés de qualsevol altre pràctica.

12. Planificació.

Per tal de seguir una pauta de treball organitzada s'ha seguit una planificació de les tasques. A continuació es presenta la dita planificació.

12.1. Planificació a data d'entrega de l'avantprojecte.

A la data d'entrega de l'avantprojecte es presenta aquesta planificació, fixis que s'ha endarrerit la recerca d'informació fins a arribar a gairebé la data límit d'entrega de l'avantprojecte, ja que ha representat la major inversió d'hores. A més, s'ha afegit diversos sub-apartats dins dels apartats i dates límits per a representar tot l'índex de continguts del treball dins del diagrama de Gantt realitzat amb el software Microsoft Project.

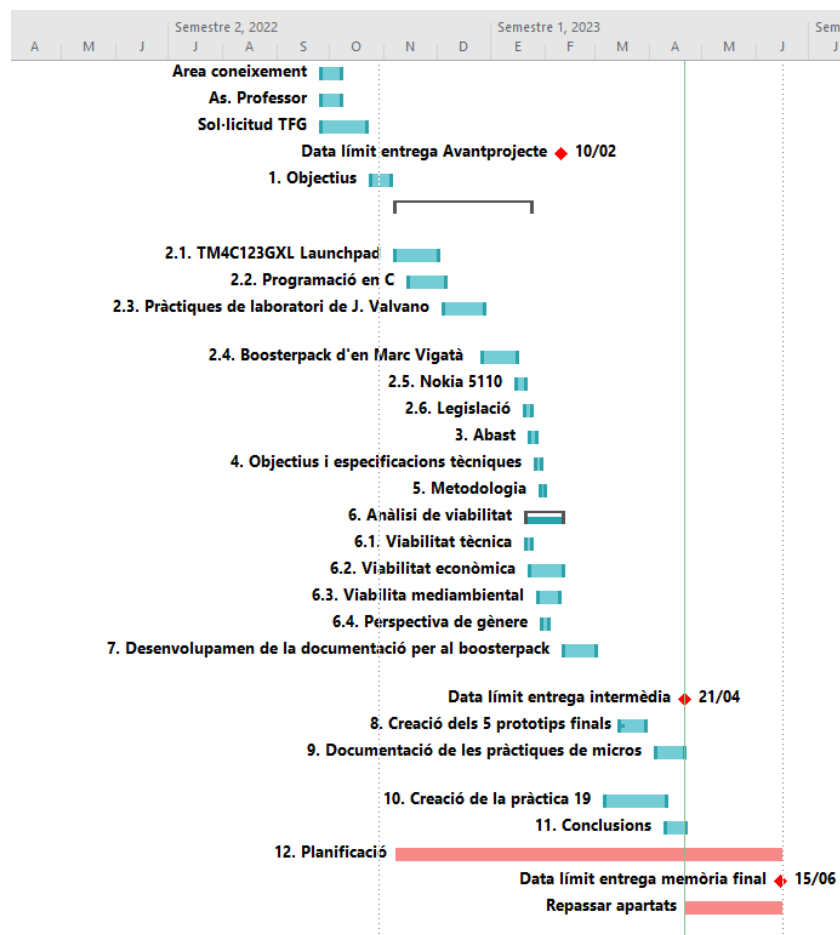


Figura 12.1.1. Planificació a l'entrega de l'avantprojecte.

Aquesta planificació s'ha respectat fins a l'entrega final. Tot seguit s'inclou la taula amb els valors exactes de les durades i dates d'inici i fi de les tasques que es va planificar a l'inici.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Area coneixement	10 días	lun 26/09/22	vie 07/10/22
As. Professor	10 días	lun 26/09/22	vie 07/10/22
Sol·licitud TFG	20 días	lun 26/09/22	vie 21/10/22
Data límit entrega Avantprojecte	0 días	vie 10/02/23	vie 10/02/23
1. Objectius	10 días	lun 24/10/22	vie 04/11/22
2. Antecedents i necessitats d'informació	56 días	lun 07/11/22	lun 23/01/23
2.1. TM4C123GXL Launchpad	19 días	lun 07/11/22	jue 01/12/22
2.2. Programació en C	15 días	mar 15/11/22	lun 05/12/22
2.3. Pràctiques de laboratori de J. Valvano	17 días	lun 05/12/22	mar 27/12/22
2.4. Boosterpack d'en Marc Vigatà	15 días	mar 27/12/22	dom 15/01/23
2.5. Nokia 5110	6 días	dom 15/01/23	vie 20/01/23
2.6. Legislació	2 días	vie 20/01/23	lun 23/01/23
3. Abast	4 días	lun 23/01/23	jue 26/01/23
4. Objectius i especificacions tècniques	3 días	jue 26/01/23	dom 29/01/23
5. Metodologia	3 días	dom 29/01/23	mar 31/01/23
6. Anàlisi de viabilitat	16 días	sáb 21/01/23	vie 10/02/23
6.1. Viabilitat tècnica	2 días	sáb 21/01/23	lun 23/01/23
6.2. Viabilitat econòmica	15 días	lun 23/01/23	vie 10/02/23
6.3. Viabilitat mediambiental	9 días	sáb 28/01/23	mié 08/02/23
6.4. Perspectiva de gènere	4 días	lun 30/01/23	jue 02/02/23
7. Desenvolupament de la documentació per al boosterpack	14 días	sáb 11/02/23	mié 01/03/23
Data límit entrega intermèdia	0 días	vie 21/04/23	vie 21/04/23
8. Creació dels 5 prototips finals	11 días	mié 15/03/23	mié 29/03/23
9. Documentació de les pràctiques de micros	12 días	mié 05/04/23	jue 20/04/23
10. Creació de la pràctica 19	25 días	mar 07/03/23	lun 10/04/23
11. Conclusions	10 días	lun 10/04/23	vie 21/04/23
12. Planificació	159 días	lun 07/11/22	jue 15/06/23
Data límit entrega memòria final	0 días	jue 15/06/23	jue 15/06/23
Repassar apartats	40 días	vie 21/04/23	jue 15/06/23

Taula 12.1.1. Planificació de tasques a dia d'entrega de l'avantprojecte.

Notis com es reserven uns quants dies al final com a “Revisió de diversos apartats”, per tal de tenir una mica de marge de cara a l’entrega final del treball. A continuació s’afegeix la taula de justificació d’hores concedides a cada tasca i les dates finals reals de cada tasca.

Tasca	Dies a dedicar	Hores a dedicar	Justificació	Previsió acabament	Endarreriment	Completat dia
Àrea coneixement	10	1		07/10/2022	0	07/10/2022
A4. Professor	10	2		07/10/2022	0	07/10/2022
Sol·licitud TFG	20	8		21/10/2022	0	21/10/2022
1. Objectius	10	5	Un cop es va realitzar la primera reunió amb el tutor, es va enfocar molt bé el projecte i no ha representat gaire problema completar l'apartat.	04/11/2022	0	04/11/2022
2. Antecedents i necessitats de la informació	56	103	La primera revisió d'antecedents no necessita que siguin massa profunds. Només es vol començar a guiar el projecte. Mes endavant es van actualitzant mentres es tiren endavant altres tasques i seran re-formulats i ampliat al màxim després de l'avantprojecte. Tot i això s'ha preferit avançar tot lo possible per no haver de retocar-ho massa en el futur.	23/01/2023	0	23/01/2023
2.1. TM4C123GXL Launchpad	19	25	Cerca d'informació i plasmar-ho al text.	01/12/2022	0	01/12/2022
2.2. Programació en C.	15	10	Explicació de les principals estructures i caràcters que peculiaritzen l'escriptura de codi en llenguatge C.	05/12/2022	0	05/12/2022
2.3. Pràctiques de laboratori de J. Valvano	17	20	Investigació a la web dels recursos del propi valvano i dels anunciats obtinguts a classe	27/12/2022	0	27/12/2022
2.4. Boosterpack d'en Marc Vigata	15	30	Selecció de la informació presentada per en Marc Vigata al seu treball i anàlisi crítica.	15/01/2023	0	15/01/2023
2.5. Nokia 5110	6	6	Anàlisi del codi Nokia5110.c i informació de l'internet	20/01/2023	0	20/01/2023
2.6. Legislació	15	12	Investigació i descripció de les normatives més pertinents i relacionades a la solució presentada	23/01/2023	0	23/01/2023
3. Abast	4	4	Un cop investigats els antecedents, l'abast és senzill i ràpid de realitzar.	26/01/2023	0	26/01/2023
4. Objectius i especificacions tècniques	3	6	Ens trobem principalment amb hipòtesis, però es defineixen certs objectius dins del futur.	29/01/2023	0	29/01/2023
5. Metodologia	3	6	Dir els recursos a utilitzar i com es faran les coses. Curt ja que s'aprofita material d'assignatures anteriors.	31/01/2023	0	31/01/2023
6. Anàlisi de viabilitat	30	38		10/02/2023	0	10/02/2023
6.1. Viabilitat tècnica	2	5	Llistat d'informació tècnica que fare servir, inventari d'equips, etc... Curt ja que es poca equipació i software.	23/01/2023	0	23/01/2023
6.2. Viabilitat econòmica	15	20	Cost de realitzar l'informe. Tediós però fàcil amb eines emprades anteriorment en altres avantprojectes.	10/02/2023	0	10/02/2023
6.3. Viabilitat mediambiental	9	10	Quantificar l'impacte mediambiental positiu o negatiu del projecte amb taules pre-fetes. Bastantes taules.	08/02/2023	0	08/02/2023
6.4. Perspectiva de gènere	4	3	Apartat ràpid ja que aplica poc, però s'ha d'imaginar a on es que aplica.	02/02/2023	0	02/02/2023
7. Desenvolupament de la documentació per al boosterpack	14	45	Creació disseny de la nova revisió del boosterpack Rev1	01/03/2023	50	20/04/2023
8. Creació dels 5 prototips finals	11	25	Creació dels 3 prototips a base dels components demanats a RS components i les plaques emmagatzemades al TCM.	15/03/2023	62	17/05/2023
9. Documentació de les pràctiques de microprocessadors	12	40	Generació de documentació per pràctiques de laboratori amb instruccions clares i enfocades a fer servir el boosterpack. 15 Labs.	20/04/2023	20	10/05/2023
10. Creació de la pràctica 19	25	35	Plantear la pràctica i desenvolupar-la amb metodologia TOP-DOWN. Que quedi documentada com els altres labs	10/04/2023	27	07/05/2023
11. Conclusions	10	15	Conclusions de la feina realitzada	21/04/2023	30	21/05/2023
Revisar diversos apartats	40	40	Repassar els apartats per faltes i maquetació. A més aplicar les correccions fetes per el tutor.	15/06/2023	0	15/06/2023
Planificació	159	15	La planificació és força ràpida de fer, a mesura que avança el projecte només es realitzen controls setmanals per saber si s'està seguint amb les dates establertes. Si no es compleixen, es fa cas al pla de contingència.	15/06/2023		

Taula 12.1.2. Hores concedides a cada tasca i taula annexa de control.

12.2. Pla de control.

El pla de control que es posarà en curs per tal de controlar el compliment de la planificació consisteix en una revisió setmanal dels punts que s'han realitzat i fer saltar el pla de contingència per als que no s'hagin conclòs quan toca. És per això que al diagrama de Gantt de l'apartat anterior es representa la tasca de "Planificació" com una que dura lo mateix que el projecte, ja que es va completant en paral·lel amb aquest. S'ha realitzat una taula per tal de proposar una sèrie de contra-mesures a aplicar si no es compleixen algunes dates claus. El procés s'anomena "Gestió de riscos del projecte" i es pot revisar a la següent taula:

Procés	Gestió de riscos del projecte
Descripció	Procés dedicat a l'estudi i gestió dels possibles riscos directes i indirectes que alteren el transcurs normal o el pressupost
Objectiu	Evitar canvis a la planificació i reduir temps d'execució davant de possibles desviacions temporals
Riscos	
Incidències	Solució prevista
Endarreriment de l'entrega de components de més de 40 dies.	Comprar a altres proveïdors
Endarreriment entrega d'informació per part d'actors externs (p.ex. Silenci administratiu)	Concertar cita presencial, si no es pot, reunió amb el tutor per solucionar-ho
Endarreriment general de les activitats	Replanificació projecte
Inviabilitat tècnica d'un objectiu marcat	Reunió urgent amb el tutor per a canviar-lo per un altre objectiu
Aparició d'activitats no planificades	Redistribució de les activitats
Corrupció dels documents informàtics	Copies de seguretat i versions dels fitxers cada cop que es finalitza una sessió de treball així: vX.X
Correcció de les entregues amb errors	Correcció del text a corregir
Conclusions de la solució proposada entren en conflicte amb l'abast	Cambiar l'abast mínimament per eliminar la incoherència
Indicadors	
Detecció endarreriment de les tasques en el control setmanal	
No assolir objectius planificats dins del projecte de detall	
Silenci administratiu	
Correcció de les entregues: Avantprojecte i Memòria intermèdia	

Taula 12.2.1. Pla de contingència del treball.

Per tal de comprovar el compliment de la planificació es crea l'*Annex 5 – Informes de seguiments* s'hi afegixen diversos informes setmanals sobre la situació de cada apartat, per saber si s'ha endarrerit algun d'ells massa.

L'únic moment en que s'ha recorregut al pla de gestió de riscos ha estat quan no s'ha pagat el valor de components comprats per part del TCM, al no rebre una resposta satisfactòria l'alumne

va decidir comprar-ho a títol particular. El tutor a canvi va avisar de que retornaria el valor en espècie al entendre que el TFG té un valor per a la institució educativa elevat.

13. Referències.

- [1] Marc Vigatà Capdevila: Disseny d'un boosterpack per a launchpad tiva TM4C123G, no date.
- [2] Marc Vigatà Capdevila: Disseny d'un boosterpack per a launchpad Tiva TM4C123G - Annexos, no date.
- [3] Texas Instruments: TIVA TM4C123GH6PM Microcontroller Datasheet, no date.
- [4] Texas Instruments: TivaWare Peripheral Driver Library - User's guide, no date.
- [5] Texas Instruments: Tiva C Sereies TM4C123G LaunchPad Evalutaion Board - User's guide, no date.
- [6] Texas Instruments: EK-TM4C123GXL Evaluation board, <https://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL>, accessed 4 November 2022.
- [7] spms376e.pdfno date.
- [8] Marcos Faundez and J. Valvano: 9. Arrays, Time, and Function Debugging, no date.
- [9] Marcos Faundez and J. Valvano: 11. UART, no date.
- [10] Marcos Faundez and J. Valvano: 6. Microcontroller ports, no date.
- [11] Marcos Faundez and J. Valvano: 5. C Language, no date.
- [12] J. Valvano: Jonathan W. Valvano, <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/>, accessed 10 February 2023.
- [13] J. Valvano: Laboratory., no date.
- [14] Wikipedia: Space InvadersWikipedia, la enciclopedia libre2022.
- [15] Vigata Capdevila, M.: Disseny d'un boosterpack per a launchpad TIVA TM4C123G, (2021).
- [16] Dr. Julián Horrillo: Pràctiques - Informàtica industrial, no date.

