Resum

El present document descriu els passos seguits per al disseny, construcció i validació del quadre de comandaments d'un vehicle elèctric. Concretament d'un monoplaça de tipus fórmula realitzat per estudiants al llarg de l'any 2012/2013. Aquest s'emmarca dins la competició Formula Student que està organitzada per l'organisme internacional d'automoció SAE.

El treball d'aquest grup d'estudiants consisteix en desenvolupar íntegrament un monoplaça en totes les seves vessants: des de la part més mecànica, passant per l'elèctrica i fins i tot la part de gestió i avaluació de costos. Dins el sector elèctric trobem dispositius molt diferents: motors, bateries, sensors, circuits de seguretat, quadre de comandament…En aquest últim subsistema és on rau el present projecte.

Aquest treball pretén tocar moltes branques de l'electrònica: des del hardware i disseny de PCB, passant pel software fins a parts més mecàniques com podria ser la caixa on va encabida el dispositiu electrònic. Així com en temes de gestió ja que està dins un projecte real que s'ha de realitzar en un període determinat.

Entrant més al detall, per la part de hardware es pretén dissenyar una PCB encarregada de captar senyals a través de CAN Bus i mostrar-les a través de diferents dispositius: ja sigui una pantalla LCD o diferents LEDs. A més, també pot captar diferents entrades del pilot i transmetre'ls a la centraleta principal del vehicle. Per la part de software, es pretén fer una màquina d'estats en funció de les pantalles a mostrar en la LCD.

Pel que respecte al tema mecànic, s'ha de dissenyar un recinte on anirà encabides les plaques electròniques. Aquest haurà de complir diferents requisits per tal de que s'adapti bé al vehicle.

Sumari

Resum 1
Sumari 3
1. Glossari 5
2. Índex de Figures 7
3. Índex de taules 10
4. Prefaci 12
4.1. Origen del projecte i motivació 12
4.2. Requeriments previs 12
5. Introducció 14
5.1. Objectiu del projecte 14
6. ANÀLISI D'ANTECEDENTS 15
7. ESPECIFICACIONS 18
8. Disseny Hardware 20
8.1. PCB Principal 20
8.1.1. Disseny esquema elèctric 21
8.1.2. Disseny *Layout* 25
8.2. PCB Auxiliars 27
8.3. Validació Hardware 28
9. Disseny Software 30
9.1. Estructura programa 30
9.2. Estructura aplicació 32
9.3. Validació Software 32
9.3.1. Validació mitjançant simuladors 33
9.3.2. Validació funcional 34
10. Disseny mecànic 35
10.1. CAD 35
10.1.1. Definició espai i ergonomia 35
10.1.2. Disseny peces 36
10.1.3. Conjunt 39
10.2. Construcció 39
11. Interacció amb vehicle - Pilot 44

11.1. Interfície 44
11.2. Comunicació 47
12. Validació conjunt 50
13. Gestió projecte 52
13.1. Master Plan 52
13.2. FMEA 54
14. Impacte ambiental 56
14.1. Impacte ambiental de les parts elèctriques 56
14.2. Impacte ambiental de les parts mecàniques 56
15. Pressupost 58
15.1. Costos de hardware 58
15.2. Costos mecànics 61
15.3. Costos desenvolupament enginyeria 62
15.4. Cost total 63
CONCLUSIONS I FUTURES LÍNIES DE TREBALL 64
AGRAÏMENTS 65
BIBLIOGRAFIA 66

1. Glossari

ASCII: *American Standard Code for Information Interchange*; codi estàndard americà per a l'intercanvi d'informació.

CAN: *Controller Area Network*; protocol de comunicacions en xarxes industrials.

LED: *Light Emitting Diode*; díode emissor de llum visible.

SAE: *Society of Automotive Engineers*; associació internacional d'enginyers i experts tècnics en les industries aeroespacials, de l'automòbil i de vehicles comercials.

PCB: *Printed Circuit Board*; placa de circuit imprès.

ECU: *Electronic Control Unit*; Centraleta electrònica.

IMD: *Insulating Monitoring Device*; Dispositiu electrònic que serveix per controlar l'aïllament entre dos xarxes diferents.

IDE: *Integrated Development Enviroment*; Entorn de desenvolupament integrat per a desenvolupar codi per a microcontroladors.

MPLAB: *acrònim*; Entorn IDE recomanat per treballar amb els microcontroladors de l'empresa microchip.

SAL: *Signal Abstraction Layer*; Nivell intermig de software on es defineixen totes les variables que usa el programa.

CAD: *Computer Aided Design,* Dibuix assistit per ordinador.

CAM: *Computer Aided Manufacturing*, fabricació assistida per ordinador.

LCD: *Liquid Crystal Display,* Pantalla de Cristall Líquid per mostrar caràcters.

USART: *Universal Synchronous Asynchronous Reciever Transmitter;* Tipus de perifèric del microcontrolador que permet comunicar-se de manera síncrona o asíncrona amb dispositius connectats en sèrie.

PCA: *Printed Circuit Assembly,* Placa de circuit imprès més components.

BLCDC: Bàsic LCD Control, Mòdul de software que conté les funcions de més baix nivell de la LCD.

BLEDC: Barra LED Control, Mòdul de software que conté les funcions relacionades amb la barra de LEDs.

CANRS: CAN Rebut Servei, Mòdul de software que assigna a les variables tot el rebut a través del CAN.

CONF: Configuració; Mòdul de software on es configuren diferents perifèrics del microcontrolador.

LCDC: LCD Control; Mòdul de software que conté les funcions per escriure diferents pantalles depenent de l'estat on s'estigui.

BMS: *Battery Monitoring System,* Dispositiu electrònica del vehicle encarregat de controlar l'estat de les bateries.

CS: *Control System,* Sistema de control. Part de baix voltatge del cotxe (<40 V)

TS: *Tractive System,* Sistema de potència. Part d'alt voltatge del cotxe (>40 V)

ECU: *Electronic Control Unit,* Unitat de control electrònic.

BSPD: *Brake Switch Plausability Device*, Dispositiu electrònic del monoplaça encarregat de detectar si s'està prement el fre i donant gas al mateix moment durant més de 0.5 segons. Això vol dir que hi ha algun problema en el vehicle.

SMD: *Surface Mount Device*, Components de circuit imprès que van soldats sobre una mateixa cara de la PCB.

TH: *Through Hole,* Components de circuit imprès que van soldats per la part posterior on estan col·locats de la PCB.

PTC: *Positive Temperature Coefficient;* Resistència que varia el seu valor amb la temperatura.

FMEA: *Failure Modes and Effects Analysis*; Anàlisi de possibles danys d'un sistema determinat.

2. Índex de Figures

Figura 6.1: Panells de comandament de diferents vehicles..... pàg. 15

Figura 6.2: Panells de comandament comercials..... pàg. 16

Figura 6.3: Panells de comandament dissenyats per estudiants..... pàg. 16

Figura 6.4: CADs dels comandaments de l'ETSEIB Motorsport..... pàg. 16

Figura 8.1: Esquema de les unions de les diferents PCBs..... pàg. 20

Figura 8.2: Esquema de entrades i sortides de la PCB principal. ..... pàg. 20

Figura 8.3: Esquema elèctric de la PCB..... pàg. 21

Figura 8.4: Connectors usats per la unió entre plaques. ..... pàg. 25

Figura 8.5: Rutejat de la PCB. *Top* i *bottom*..... pàg. 25

Figura 8.6: Detall del *pad* del regulador..... pàg. 25

Figura 8.7: Exemple vies PCB. ..... pàg. 26

Figura 8.8: Traçat vies cristall. ..... pàg. 26

Figura 8.9: Traçat vies microcontrolador. ..... pàg. 26

Figura 8.10: PCA. Part posterior i part frontal..... pàg. 26

Figura 8.11: PCB sense components i soldada..... pàg. 26

Figura 8.12: Esquema PCB connectors vehicle. ..... pàg. 27

Figura 8.13: Dimensions PCB selector..... pàg. 27

Figura 8.14: Traçat de pistes de les dos plaques auxiliars. ..... pàg. 27

Figura 8.15: PCBs de les dos plaques auxiliars. ..... pàg. 27

Figura 8.16: Senyal quadrada del microcontrolador. ..... pàg. 28

Figura 8.17: Senyal CAN..... pàg. 29

Figura 9.1: Representació arxius..... pàg. 31

Figura 9.2: Esquema del programa. ..... pàg. 32

Figura 9.3: Simulació Proteus. ..... pàg. 33

Figura 9.4: Muntatge validació de software. ..... pàg. 34

Figura 10.1: Quadre de comandaments vist des del pilot . ..... pàg. 35

Figura 10.2: Elements conflictius..... pàg. 36

Figura 10.3: Cotes generals del quadre de comandaments. ..... pàg. 36

Figura 10.4: Influències en el disseny. ..... pàg. 37

Figura 10.5: Posicionat components. ..... pàg. 37

Figura 10.6: CAD final de la tapa. ..... pàg. 38

Figura 10.7: CAD final de la coberta..... pàg. 38

Figura 10.8: CAD final del fixador..... pàg. 38

Figura 10.9: Desplegat del conjunt..... pàg. 39

Figura 10.10: Motlle. ..... pàg. 40

Figura 10.11: Laminat capa fibra de vidre. ..... pàg. 41

Figura 10.12: Laminat fibra de carboni..... pàg. 41

Figura 10.13: Col·locació film i buit..... pàg. 42

Figura 10.14: Coberta desemmotllada. ..... pàg. 43

Figura 10.15: Coberta acabada..... pàg. 43

Figura 11.1: LEDs indicadors d’errors. ..... pàg. 44

Figura 11.2: Barra de LEDs que indica l’estat de la bateria..... pàg. 44

Figura 11.3: Exemple de seqüència de visualització. ..... pàg. 45

Figura 11.4: Exemple de seqüència d’edició. ..... pàg. 46

Figura 11.5: Exemple de lectura de missatges CAN. ..... pàg. 48

Figura 12.1: Dispositiu muntat al vehicle. ..... pàg. 50

3. Índex de taules

Taula 7.1: Especificacions elèctriques/electròniques ..... pàg. 18

Taula 7.2: Especificacions mecàniques ..... pàg. 18

Taula 7.3: Especificacions vehicle - pilot ..... pàg. 19

Taula 8.1: Principals característiques del regulador 12-5V ..... pàg. 22

Taula 8.2: Principals característiques del regulador 5-3.3V ..... pàg. 22

Taula 8.3: Principals característiques del transceptor de CAN ..... pàg. 23

Taula 8.4: Principals característiques del microcontrolador ..... pàg. 24

Taula 8.5: Principals característiques de la pantalla LCD ..... pàg. 24

Taula 8.6: Característiques principals del connectors ..... pàg. 25

Taula 8.7: Descripció connectors LEMO ..... pàg. 28

Taula 11.1: Codificació dels LEDs d'estat del vehicle ..... pàg. 45

Taula 11.2: Errors i avisos ..... pàg. 46

Taula 11.3: Modes selector ..... pàg. 47

Taula 11.4: Xarxes CAN del vehicle ..... pàg. 47

Taula 11.5: Missatges CAN del quadre de comandaments ..... pàg. 48

Taula 11.6: Dades del Bus CAN ..... pàg. 49

Taula 13.1. Master Plan del quadre de comandaments ..... pàg. 53

Taula 13.2. Explicació dels indicadors del FMEA ..... pàg. 54

Taula 13.3. FMEA del quadre de comandaments ..... pàg. 55

Taula 14.1: Costos components PCB connectors ..... pàg. 58

Taula 14.2: Costos components PCB selector ..... pàg. 58

Taula 14.3: Costos components PCB principal ..... pàg. 59

Taula 14.4: Costos components quadre..... pàg. 60

Taula 14.5: Costos de soldadures..... pàg. 60

Taula 14.6: Costos cablejats..... pàg. 60

Taula 14.7: Costos mecànics..... pàg. 61

Taula 14.8: Costos eines desenvolupament ..... pàg. 62

Taula 14.9: Costos d'enginyeria..... pàg. 62

Taula 14.10: Costos totals ..... pàg. 63

4. Prefaci

4.1. Origen del projecte i motivació

Per entendre la motivació d'aquest projecte primer cal comprendre la plataforma d'estudiants Formula Student. Aquesta és una iniciativa proposada per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Barcelona (ETSEIB) des de l'any 2007. Consisteix en dissenyar, construir i validar un prototip de monoplaça dins el marc de la Formula Student. Al llarg dels anys, aquesta agrupació d'estudiants tutoritzats per diferent professorat de la universitat ha desenvolupat des de vehicles amb motor de combustió interna, en els seus inicis, fins a monoplaces amb un tren de potència totalment elèctric.

Aquests vehicles realitzats per estudiants, un cop construïts, es porten a competir a diferents circuits d'Europa. En són exemples *Hockenheim* (Alemanya), *Riccardo Paletti* (Itàlia) o *Montmeló* (Catalunya). Allà són avaluats per professionals del món de l'automoció de forma tant teòrica com pràctica. Així s'aconsegueix donar molta importància a l'aprenentatge de l'estudiant i no tanta a altres fets com, per exemple, el pilot. Aquest és un projecte global, on hi tenen cabuda aspectes tan tècnics i tan variats que permeten als estudiants créixer en la seva formació, tant a nivell pràctic com a nivell teòric i personal.

Dins d'aquest marc, l'any 2012-2013 es crea el sisè cotxe desenvolupat per l'ETSEIB: el CAT06e. En aquest, rau la necessitat de realitzar una part molt important del vehicle, el dispositiu que serveix de vincle entre pilot i el monoplaça: el quadre de comandaments. D'aquí en surt la idea del present projecte. Engrescador per tot el que suposa: tant des del punt de vista electrònic (des de hardware a software) passant per la part més mecànica (construcció del recinte) com de gestió (elaboració d'aquest dispositiu el més econòmic possible i amb el menor temps possible sempre pensant en el bé de tot l'equip).

4.2. Requeriments previs

Al ser un projecte global, per realitzar-lo és important tenir una bona base de coneixements d'electrònica, tant de hardware com de software. Això implica un previ coneixement de programes CAD (creació de circuits impresos) i de entorns de programació com podria ser el

MPLAB. Pel que respecte la part mecànica, també és necessari unes nocions de fabricació i disseny de peces.

Apart dels coneixements explícits dels projecte, també és convenient tenir coneixements previs del què significa un vehicle elèctric així com el que suposa una competició de Fórmula Student.

5. Introducció

5.1. Objectiu del projecte

L'objectiu principal de l'equip en general és dissenyar, construir i competir amb un monoplaça durant el llarg del curs 2012/2013 tot complint la normativa SAE amb la qual es regeix la competició.

Concretament l'objectiu d'aquest projecte és desenvolupar, construir i validar el quadre de comandament del vehicle elèctric esmentat. Això, aclarit per parts, significa:

Hardware: Disseny de l'esquema electrònic, elecció de components, disseny de la PCB, construcció i posterior validació.

Software: Disseny del codi que s'implementarà al microcontrolador. Això vol dir decidir una estructura de software, disseny del propi codi, implementació i posterior validació.

Mecànic: Disseny del recinte on s'encabirà la part electrònica. Integració d'aquest en el vehicle, construcció i avaluació d'esforços.

Gestió: Organització, costos i *timming* segons les necessitats de l'equip. És un projecte amb una normativa i unes dates establertes.

6. ANÀLISI D'ANTECEDENTS

Com ja s'ha esmentat en el transcurs de la memòria del projecte, el panell informatiu és una part vital per un vehicle de competició ja que és la part que relaciona el pilot amb el vehicle. Així doncs, abans de començar qualsevol disseny és important fer una recerca dels antecedents.

Un dels principals objectius de la Formula Student, dins el possible, és la innovació. Aquest fet suposa que en la recerca inicial es busquin fronteres més amplies i no només es fixi amb la resta de cotxes de la present competició d'estudiants. Això implica que sigui necessari mirar altres disciplines diferents i veure si és possible adaptar algun disseny a la Formula Student.

Per començar, s'analitzen altres tipus de vehicles, també de Motorsport però amb característiques una mica diferents a la Formula Student. En són exemples els rallis, la Formula 1, GP 2, NASCAR, Formula 3000, Champcar...

Figura 6.1. Panells de comandament de diferents vehicles. *Font: Google.*

Hi ha moltes tipologies de panells: des dels que tenen simples LEDs indicadors de paràmetres molt bàsics fins a alguns de complicadíssims. Això ve molt donat segons les necessitats del pilot i del tipus de vehicle de competició. Hi ha modalitats on el pilot ha de controlar gran quantitat de variables i set up del cotxe i n'hi ha d'altres on el pilot no pot tocar res i el panell informatiu només serveix com a indicador.

Com es pot observar a les imatges 6.1 hi ha dos modalitats diferents de panell informatiu: electrònica al volant o al *cockpit* del vehicle.

A part d'aquesta diferència, també n'hi ha una altre d'important: els equips que es fan la seva pròpia electrònica i els que la compren. La primera opció els dóna fiabilitat i altes prestacions, però d'altre banda perden: la possibilitat de fer un disseny òptim adaptat especialment pel vehicle, l' aprennetatge, formació i innovació. Aquests últims, objectius vitals de la Formula Student.

Figura 6.2. Panells de comandament comercials. *Font: Google, i pròpia.*

Pensant en dissenys creats pels pròpis estudiants, i ara ja dins el marc de la formula Student, n'hi ha de més elaborats i de menys. Com es pot observar a la figura 6.3 hi ha des dels que tenen pantalla tàctil als que només tenen LEDs indicadors.

Figura 6.3. Panells de comandament dissenyats per estudiants. *Font: Google, i pròpia.*

Concretament, en l'equip de l'ETSEIB, s'havia usat durant anys dispositius electrònics comprats fins l'any el CAT04. Aquesta temporada, amb cotxe de combustió interna, va ser la primera on es va introduir electrònica al vehicle i es va optar per fer una pantalla tàctil. Ja en el CAT 05, primer vehicle elèctric, es va decidir usar un *dashboard* més senzill, sense electrònica al volant amb indicadors de dígits i LEDs.

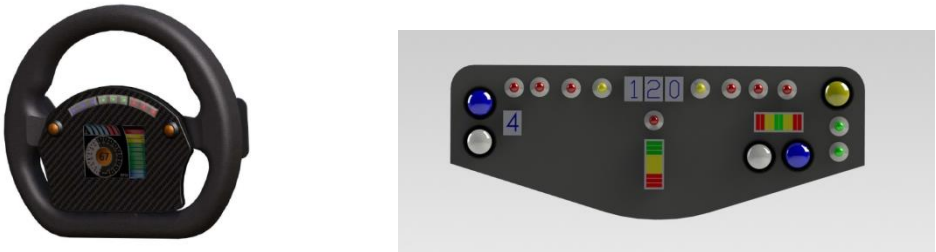


Figura 6.4. CADs dels comandaments de l'ETSEIB Motorsport. *Font:pròpia.*

Pel que respecte al primer disseny (figura 6.4 esquerra) aquest era molt innovador i versàtil, doncs el pilot podia editar el seu propi menú i les variables que ell creies més importants. D'altra banda, era molt poc fiable. El connexionat entre volant i vehicle no era del tot robust. A part era una kit de desenvolupament de *Microchip* (PIC) amb la qual cosa feia incrementar molt els costos.

Pel que respecte, el del CAT05e (figura 6.4 dreta) era més senzill, i això va incrementar la fiabilitat. D'altre banda era molt poc versàtil (només tenies LEDs i 3 *displays* set segments) i mecànicament no era gens robust.

Tenint en compte aquests antecedents, s'opta per realitzar un quadre de comandaments realitzat per el propi equip i sense electrònica al volant. Amb aquest fet, es pretén millorar la fiabilitat i abaratir costos. Per tal de guanyar versatilitat, es decideix realitzar un disseny amb una pantalla LCD. També es pretén millorar la robustesa mecànica així com l'accés a l'electrònica.

7. ESPECIFICACIONS

Un cop vists els antecedents i els objectius del projecte, es defineixen una sèrie d'especificacions que haurà de tenir el dispositiu electrònic final.

Es divideixen les especificacions en 3 apartats: especificacions elèctriques/electròniques, mecàniques i interacció vehicle - dispositiu.

Especificacions elèctriques

Especificació	Quantitat	Comentari
Voltatge	10-14V	Bateria baix voltatge vehicle
Consum	600 mA (Màxim)	Duració bateries baix voltatge
PCB	2 Capes	Abaratir costos
Comunicació	CAN Bus	Comunicació centraleta principal vehicle
Entrades digitals	3	BMS, polsador encesa, IMD
Entrades Analògiques	0	No necessàries

Taula 7.1. Especificacions elèctriques/electròniques.

Especificacions mecàniques

Especificació	Comentari
Resistent als cops	Sobretot quan el pilot surt del vehicle
Lleugeresa	Vehicle de competició: menys pes possible
Estanqueïtat	Condicions de pluja
Adaptar-se forma monocasc	Monocasc segon any a l'equip
Facilitat construcció	Adaptar-se a proveïdors de l'equip
Facilitat muntatge	Fàcil de desmuntar en cas de qualsevol incident

Taula 7.2. Especificacions mecàniques

Especificacions vehicle - pilot

Especificació	Comentari
Poder-se programar conjunt	Un cop muntat el dispositiu que hi hagi la possibilitat de re-programar-lo.
Versatilitat	Que els paràmetres a visualitzar es puguin canviar fàcilment
Set up pilot	El pilot ha de poder canviar alguna paràmetre.
Visualització pilot	El pilot ha de poder visualitzar el màxim de variables possibles durant la cursa amb facilitat.
Dissenyat per equip	Més punts a la prova de disseny

Taula 7.3. Especificacions Vehicle - Dispositiu

8. Disseny Hardware

La part de hardware del quadre de comandaments consta de tres PCBs. Es decideix fer-ho d'aquesta manera per tal de simplificar el muntatge, deixar més espai per les connexions i per no arriscar amb les toleràncies de fabricació.

N'hi ha dos d'auxiliars i una de principal. En aquesta última és on s'ubica el "cervell" del quadre de comandaments. Consta d'un microcontrolador, circuit de protecció i alimentació i un circuit (transceptor) de comunicació CAN. A part també consta del connector de la LCD i d'una barra de LEDs.

Les altres dues són per connexionat. La primera és la que conté els connectors de l'exterior (costat vehicle) i l'altre conté un selector de cinc posicions.

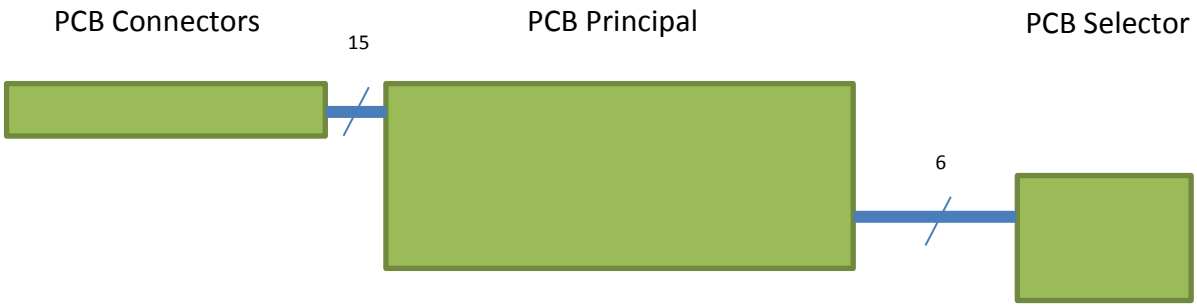


Figura 8.1. Esquema de les unions de les diferents PCBs

8.1. PCB Principal

La PCB principal té unes dimensions de 90 x 50 mm. Pel que respecte a les entrades i sortides, té un connector pla que la uneix amb la PCB dels connectors a l'exterior i que consta d'unes quinze senyals (CAN, auxiliars, alimentacions i programació) i un altre connector pla que s'uneix amb el selector (cinc senyals). Per últim consta de tres connectors que serveixen per alimentar els LEDs indicadors, barra de leds i LCD

Figura 8.2. Esquema d'entrades i sortides de la PCB principal.

8.1.1. Disseny esquema elèctric

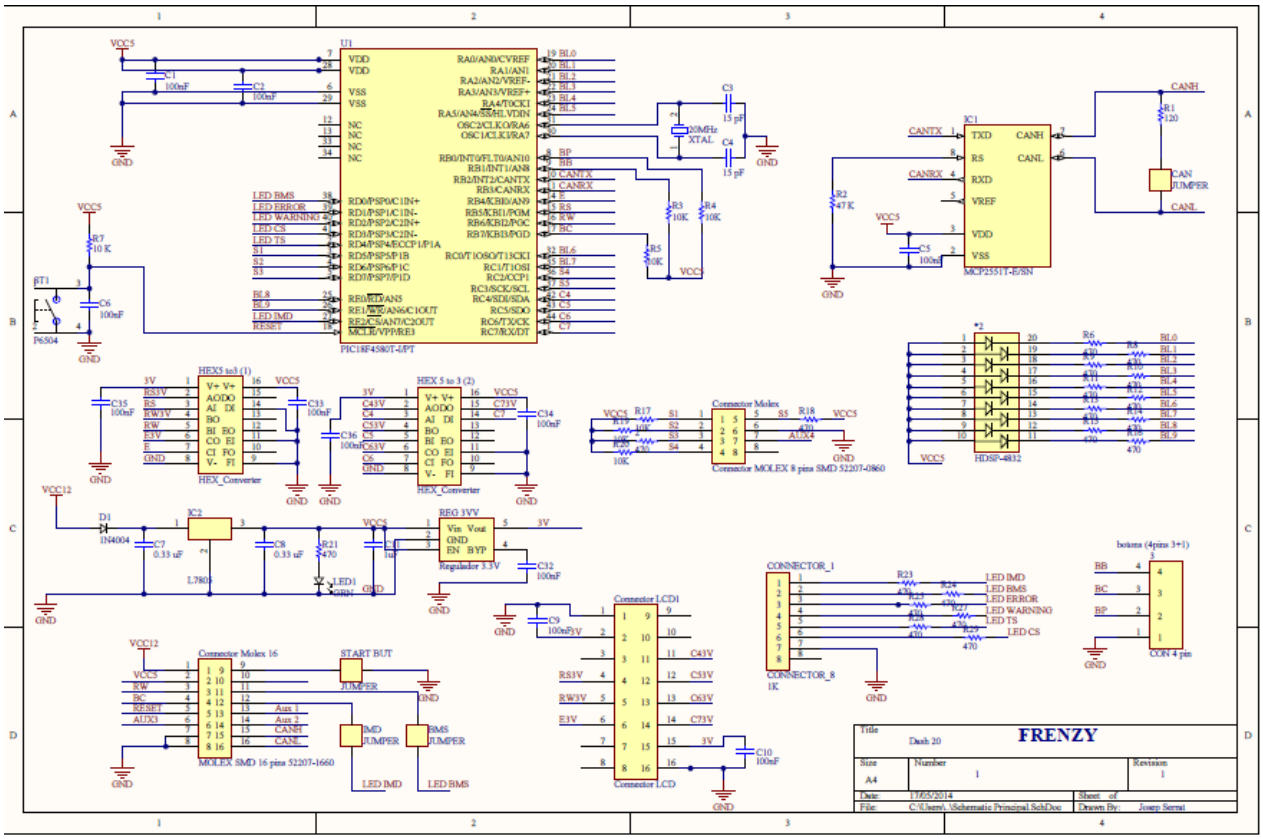


Figura 8.3. Esquema elèctric de la PCB.

Les parts de l'esquema elèctric, així com les característiques dels components principals, són les següents:

Circuit d'alimentació: Circuit que consisteix en protegir i subministrar els diferents nivells de tensió en què treballen la resta de components. Consta d'un regulador de 12-5V i d'un altre de 5-3,3V. També consta d'un díode de protecció així com uns quants condensadors per estabilitzar la tensió.

Els principals components en aquest circuit són els reguladors. Les característiques més importants que s'han mirat són cost i corrent màxim de sortida. El primer per no encarir massa la PCB i el segon pel correcte funcionament dels components aigües avall i la dissipació de l'energia.

Característiques principals del components usats:

Reg. 1:

L7805

Especificació	Valor
V_{IN}	7.5 – 20 V
V_{OUT}	5.0 +/-0.15 V
I_{OUT}	1.5 A
Encapsulat	D^2PAK
Dropout V	50mV (a 57 150mA)
Temp de treball	-40 a 125 ºC
Cost	0.57 €

Taula 8.1. Principals característiques del regulador 12-5V

Reg.2:

MIC5265

Especificació	Valor
V_{IN}	2.7-5.5 V
V_{OUT}	3.3 V
I_{OUT}	150 mA
Encapsulat	SOT 23
Dropout V	210mV (a 57 150mA)
Temp de treball	-40 a 125 ºC
Cost	0.26 €

Taula 8.2. Principals característiques del regulador 5-3.3V

Potència dissipada i màxim temperatura ambient pel correcte funcionament del regulador de 5V:

$P_D=(V_{in} - V_{out})\cdot I_{out} + Vin\cdot I_{GND} = (12.0 - 5.0)\ 0.30= 2.1W$ (suposant un consum de 300 mA que és un factor de seguretat de 4 i I_{GND} quasi 0). (Eq. 8.1)

$P_d = \frac{T_{j(\max)}-T_{amb}}{R_{\theta ja}} = 2.1 = \frac{125-T_{amb}}{125}$ → T_{AMB}= 120ºC (màxim) (Eq. 8.2)

on
- $T_{j(\max)}$: Màxima temperature de la unió.
- $R_{\theta ja}$: Resistència tèrmica (unió a ambient)

Potència dissipada i màxim temperatura ambient pel correcte funcionament del pel regulador de 3.3V:

$P_D=(V_{in} - V_{out})\cdot I_{out} + Vin\cdot I_{GND} = (5.00 - 3.30)\ 0.10= 0.17W$ (suposant un consum de 150 mA que és un factor de seguretat de 5 i I_{GND} quasi 0). (Eq. 8.3)

$P_d = \frac{T_{j(\max)}-T_{amb}}{\theta_{ja}} = 0.17 = \frac{125-T_{amb}}{235}$ → T_{AMB}= 85ºC (màxim) (Eq. 8.4)

Comunicació: Part del circuit encarregada d'enviar la informació d'una manera determinada. En el cas del present projecte, via CAN. El circuit consta d'un transceptor (o *transceiver* en anglès) i d'una resistència terminadora. El *transceiver* és l'encarregat d'adaptar els nivells de voltatge usats per la comunicació a uns adequats pel controlador CAN (en el cas del projecte, el microcontrolador). El circuit de la resistència serveix per evitar que diferents elements paràsits distorsionin els missatges.

Principalment s'escull aquest transceptor ja que funciona amb els nivells de tensió desitjats, pot anar a la velocitat màxima del CAN i és del mateix fabricant que el microcontrolador.

MCP2551

Especificació	Valor
V_{IN}	4.5 – 5.5 V
Max *Baudrate*	1Mb/s
I_{IN}	10 mA
Encapsulat	SOIC 8
#Nodes (max)	112
Temp de treball	-40 a 85 ºC
Protecció contra curtcircuit	
Cost	0.78 €

Taula 8.3. Principals característiques del transceptor de CAN

Circuit microcontrolador: Part de la PCB encarregada de coordinar totes les senyals. El cervell de la PCB. Consta del propi microcontrolador i d'un cristall extern per millorar la velocitat.

L'elecció d'aquest component es realitza partint de la base que no es necessita un microcontrolador potent ja que les funcions a realitzar no ho requereixen i que tingui CAN. Com és el component més important, també és valorable tenir en compte l'experiència, és a dir, el fet de que ja s'hagi usat prèviament al projecte de Formula Student.

PIC18F4580

Especificació	Quantitat
V_{IN}	2.0 – 5.5 V
Nucli	8 bit
Cristall	40 Mhz (fins a)
I/O Digitals	21
Entrades Analog	11 (10 bit)
Temp de treball	-40 a 85 ºC
Sleep Mode	
Cost	5.30 €

Especificació	Quantitat
CAN	1 Mb/s
	CAN 2.0
USART	RS-232
	RS-485
Interrupcions amb prioritat	
Encapsulat	44 pin TQFP

Taula 8.4. Principals característiques del microcontrolador

Visualització i interfície: Aquesta part de l'esquema elèctric consta d'una barra de LEDs de diferents colors i d'una pantalla LCD. S'escull la següent LCD degut a la grandària, il·luminació i tipus de comunicació amb el microcontrolador.

LCD

Especificació	Quantitat
V_{IN}	2.7 – 4.5 V
I_{IN}	13 mA
Temp de treball	-20 a 70 ºC
Caràcters	16 caràcters, 2 línies
Il·luminació de fons	
Cost	14.60 €

Taula 8.5. Principals característiques de la pantalla LCD

Connectors: L'última part de l'esquema són els connectors. Com prèviament esmentat, consta de dos connectors plans: un per el selector i l'altre per unir la placa de connectors del

vehicle. A més a més, consta d'un altre connector que serveix tan per botons com per LEDs indicadors. Per tal de assegurar els nivells de tensió, es posen diferents *pull-ups*.

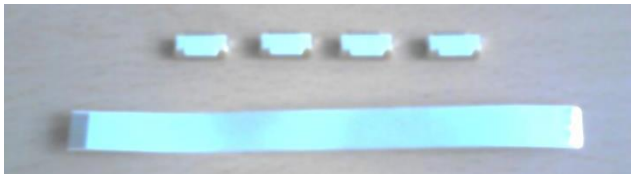


Figura 8.4. Connectors usats per la unió entre plaques. *Font: Pròpia.*

Els connectors usats són:

	Model	Descripció
PCB Connectors - PCB Prirncipal	Molex 52207-0860	Angle Dret, SMD 8 pins, 1 A
	Molex 98267-0229	8 pins, Contactes al mateix costat, 102mm (tira)
PCB Selector- PCB Pirncipal	Molex 52207-0860	Angle Dret, SMD 8 pins, 1 A.
	Molex 98267- 0223	8 pins, Contactes al mateix costat, 30mm (tira)

Taula 8.6. Característiques principals del connectors..

8.1.2. Disseny *Layout*

En aquest apartat s'explica el traçat de les pistes de la PCB principal així com algunes consideracions que s'han tingut en compte a l'hora de fer-lo.

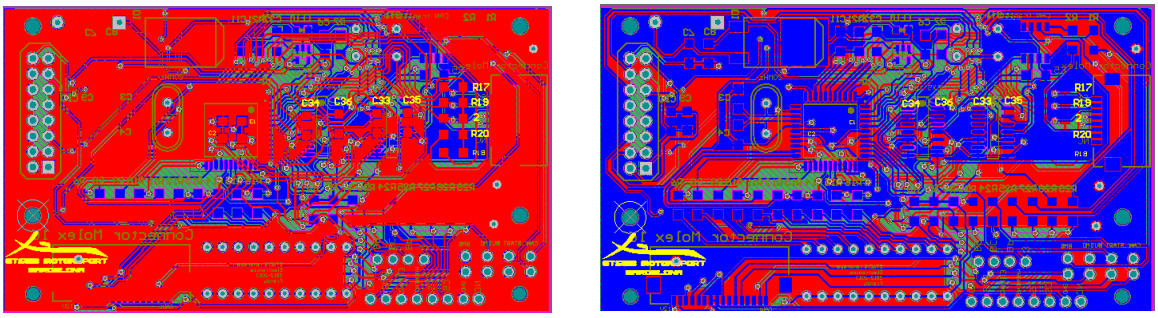


Figura 8.5. Rutejat de la PCB. Top (Esquerra) i bottom (dreta). *Font: Pròpia*

Algunes consideracions que s'han tingut en compte:

1. *Pad* més gran per tal de que algun component dissipi millor.

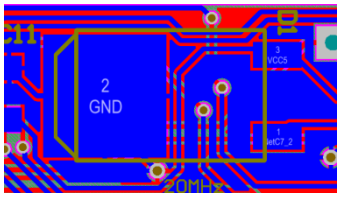


Figura 8.6. Detall del pad del regulador.

2. Reduït el màxim camí les pistes per tal de disminuir la impedància. Pistes amb més current, pistes amb més amplada.

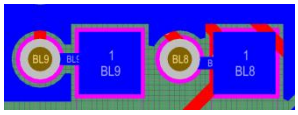


Figura 8.7.Exemple vies PCB.

3. Pla de massa i situació dels components condensadors més cristall tal i com indica el full de característiques del microcontrolador per tal millorar el seu funcionament.

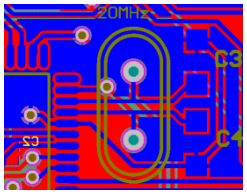


Figura 8.8. Traçat vies cristall.

4. Pla de massa per sota del microcontrolador per tal de protegir-lo contra interferències electromagnètiques.

5. Condensadors de desacoblament el més a prop possible dels components per tal de reduir *loops* de corrent i assegurar el seu bon comportament.

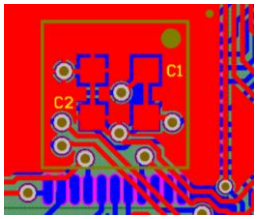


Figura 8.9. Traçat vies microcontrolador.

6. Separació en la placa de part de comunicacions i tractament de senyals.

A continuació es mostren els CADs de la PCB en tres dimensions (figura 8.10) així com dos imatges de la PCB real (figura 8.11).

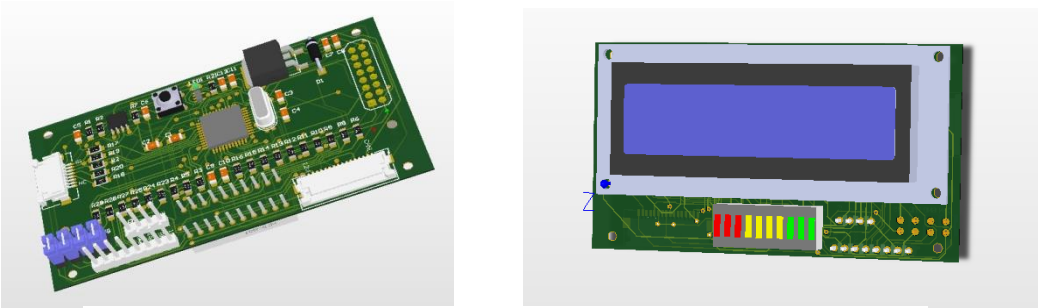


Figura 8.10. PCA. Part posterior (esquerra) i part frontal (dreta). *Font: Pròpia*

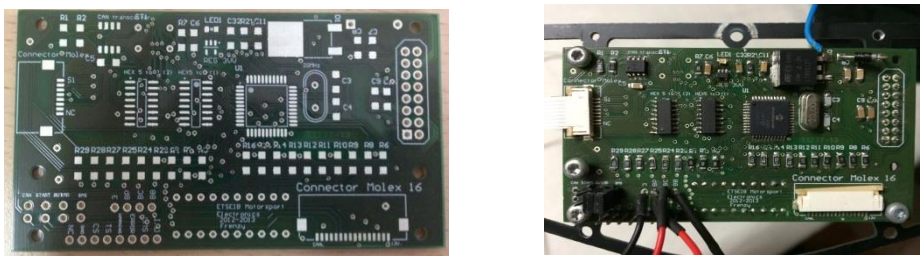


Figura 8.11. PCB sense components (esquerra) i soldada (dreta). *Font: Pròpia*

8.2. PCB Auxiliars

Tal i com s'ha comentat prèviament, les PCB auxiliars són dues: la de connectors amb l'exterior del dispositiu i la del selector.

Les dimensions de la primera són de 60 x 20 mm i de la segona és una L amb les dimensions marcades a la figura 8.10.

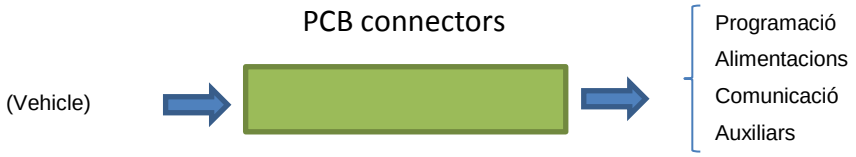


Figura 8.12. Esquema PCB connectors vehicle

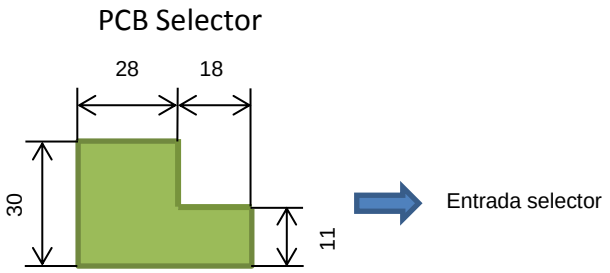


Figura 8.13. Dimensions PCB selector

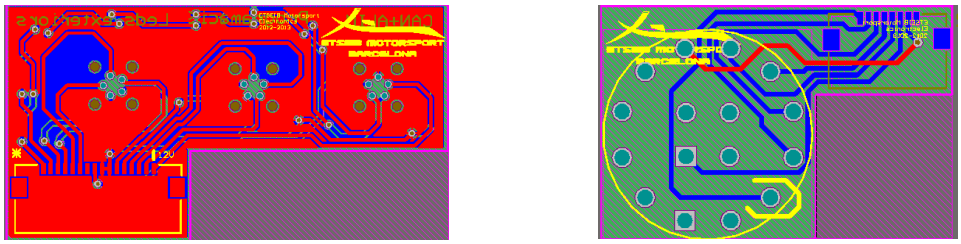


Figura 8.14. Traçat de les pistes de les dos plaques auxiliars

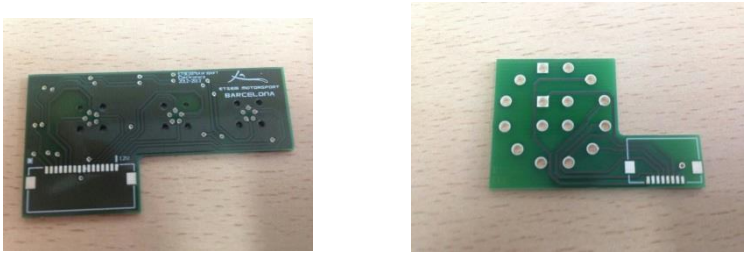


Figura 8.15. PCA de les dos plaques auxiliars.

Pel que respecte als connectors de les dos PCBs, aquests són Molex com els de la taula 8.6.

Dins la PCB que serveix per connectar el quadre amb el vehicle, els connectors usats són els següents:

Nom	Model	Descripció
Alimentació	LEMO HEN 0F 305 XLC	PCB, no colze, pins petits, 5 pins, alumini blau, mascle
Extra	LEMO HEN 0F 305 XLM	PCB, no colze, pins petits, 5 pins, alumini blau, femella
Programació	LEMO HEP 0F 305 XLC	PCB, no colze, pins petits, 5 pins, alumini groc, mascle

Taula 8.7. Descripció connectors Lemo.

8.3. Validació Hardware

El hardware és la primera part del total del quadre de comandaments, per tant és important validar-lo bé per tal de després no trobar-se errors que puguin derivar d'aquests.

Per tal de validar el hardware, es decideix fer una verificació funcional tot seguint els següents passos:

Validació circuit d'alimentació: comprovació tensions de referencia. Comprovació díode de protecció de corrent inversa.

Validació microcontrolador: S'implementa un programa senzill en el microcontrolador que generi una ona quadrada amb una freqüència determinada. Es comprova amb l'oscil·loscopi. Amb aquest pas es té comprovat tot el circuit d'alimentació i de tractament.

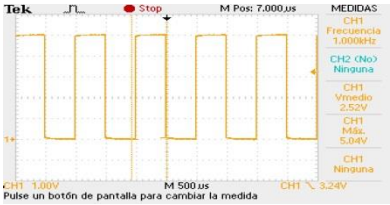


Figura 8.16. Senyal quadrada del microcontrolador.

Validació CAN: S'implementa un programa senzill que emeti un missatge de CAN conegut. Es comproven les senyals a l'oscil·loscopi. Amb aquest pas es té els circuits de comunicació validat.

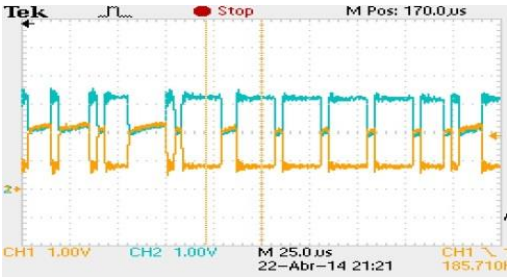


Figura 8.17. Senyal CAN.

Un cop analitzades les senyals de CAN, per tal de comprovar el correcte enviament dels bits, es posa un altre node a la xarxa i es visualitza el missatge.

Visualització: S'implementa un programa senzill que escrigui algun caràcter per la LCD i encengui uns determinats LEDs.. Es realitza el mateix pels botons (validació entrades microcontrolador). En aquest pas la part de visualització ja està validada.

Durabilitat: Es deixa tot el hardware funcionant durant un parell d'hores. Si tot funciona correctament i la temperatura no ha incrementat fins a nivells perillosos, es torna a fer la prova durant unes vuit hores.

9. Disseny Software

Una altra de les parts importants del projecte, i molt estretament relacionada amb el hardware, és el software. La idea principal d'aquest és fer una arquitectura amb diferents mòduls perquè sigui fàcil de comprendre.

9.1. Estructura programa

Primer de tot, el llenguatge usat és el C. S'escull aquest tipus de codi ja que s'hi ha treballat alguna altra vegada i, per tant, el temps de desenvolupament és inferior. A més, és de nivell més alt que l'ensamblador. Aquest fet encara fa reduir més el període de desenvolupament. Sí que és veritat que per realitzar un codi molt optimitzat, a vegades és necessari el llenguatge ensamblador. Ara bé, tenint en compte les característiques del microcontrolador i el programa a realitzar, es veu que hi ha espai de sobres i, per tant, no cal un codi massa economitzat. A més, si es té en compte el temps de desenvolupament i el timming marcat a l'inici, l'ensamblador no és una opció viable. Comparant el C amb la resta de llenguatges de programació com Python, bàsic o labview aquests últims són de nivell massa alt i el codi generat és exageradament no òptim.

Descrivint el codi, aquest s'estructura en diferents blocs units entre ells. Es decideix fer aquesta arquitectura per facilitar-ne la comprensió i poder trobar els error amb més facilitat. A més, pot ser un punt de partida pels estudiants dels propers anys.

Explicació dels arxius:

Dash20: Mòdul principal. A partir d'aquest es criden la resta de mòduls mitjançant funcions i accions. Conté les configuracions de les variables, les inicialitzacions i el *loop* infinit. Aquest últim consisteix en una màquina d'estats que marca les diferents pantalles de la LCD. També conté part del codi de les interrupcions.

CONF: Mòdul on es defineixen diferents configuracions dels perifèrics del microcontrolador. Es configuren els ports, els *timers* i el CAN. S'hi poden trobar funcions com *CONF_Configuracio_Timers()*, *CONF_Configuracio_CAN()*,...

CANRS: Arxius que contenen el codi relacionat amb el que es rep per la comunicació CAN. En aquest mòdul hi ha l'adjudicació de les variables de la informació provinent dels

missatges amb identificadors 0xC8, 0xC9, 0xCA, 0xCB. Per a més informació sobre els identificadors es recomana mirar taula 11.5 d'aquest mateix document.

BLCDC: Bloc on hi ha les funcions bàsiques de la LCD. En són exemples *BLCDC_Escriure_Lletra(char caracter)*, *BLCDC_EscriureFrase(char *buffer)*, *BLCDC_Neteja()*,...

BLEDC: Bloc on apareixen funcions relacionades amb la barra de LEDs. En són exemples *BLEDC_SOC_20_10()*, *BLEDC_Inicialització_LEDs()*,...

INTC: Mòdul on hi ha les línies de codi que descriuen el què es fa quan arriba una interrupció. En el cas d'aquest projecte hi ha només una interrupció del timer 0. Un cop arriba la interrupció es fa el tractament dels botons amb els seus pertinents canvis d'estat. A més, es mira l'estat del selector i es fa el canvi de mode. També s'envia alguna variable per CAN.

LEDSC: Bloc on es controlen els estats dels LEDs del quadre de comandaments.

LCDC: Mòdul on hi ha escrites les línies de codi encarregades d'escriure per pantalla el que correspon a l'estat en què s'està. En són exemples de funcions *LCDC_Pantalla_6()*, *LCDC_Pantalla_Error_2(),...*

Can18f258: Mòdul realitzat per microchip, on hi ha tots els divers del CAN.

Cada mòdul explicat en els paràgrafs anteriors conté un parell d'arxius. El *.c que conté tot el codi a executar i el *_config.h que conté definicions de funcions i definicions de variables. A més, et permet unir els diferents fitxers entre ells.

A part d'aquests fitxers també hi ha el variables.h, on estan definides totes les variables que s'usen en el programa de forma global.

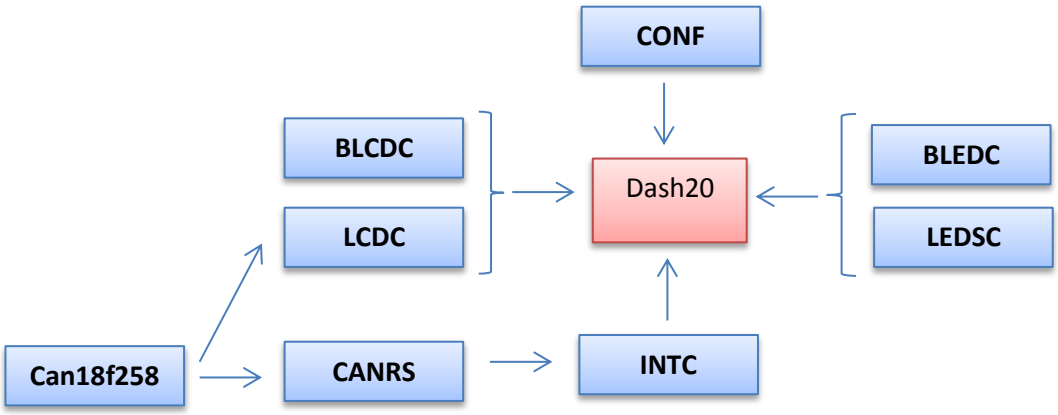


Figura 9.1. Representació arxius.

9.2. Estructura aplicació

A part d'explicar com està estructurat el software és important explicar com està estructurat el programa.

En aquest cas, es tria fer una estructura el més senzilla i intuïtiva possible per tal de que el pilot pugui entendre bé què li està passant al cotxe. S'ha optat per una inicialització quan s'obre el cotxe i després una pantalla inicial d'on es podrà anar, o bé a les pantalles d'edició (el pilot pot editar paràmetres del cotxe), o bé a les pantalles de visualització. A part, en cas d'error o avís, apareix de sobte independentment on s'estigui del programa.

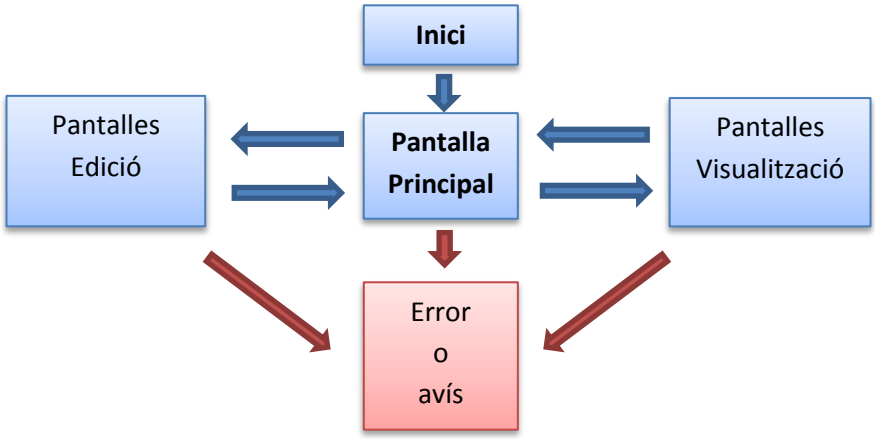


Figura 9.2. Esquema del programa.

Aquest apartat es detalla més endavant en l'apartat 11 (interacció amb vehicle) del present projecte.

9.3. Validació Software

Com en el hardware, també és important validar el software per evitar possibles errors que se'n derivin. En aquest cas, però, abans de fer una validació funcional amb el hardware del dispositiu, s'usa una eina de simulació.

9.3.1. Validació mitjançant simuladors

Una eina molt útil abans de testejar el software directament amb el hardware real és el simulador. En aquest cas s'usa el Proteus. En aquest simulador s'implementa l'esquema elèctric complet del dispositiu i es van fent diferents iteracions per tal de validar-lo. S'implementa el microcontrolador, els botons, els LEDs, el selector, la pantalla LCD,...tot per fer-ho el més semblant possible amb el quadre de comandaments final.

Usar el Proteus et permet:

- Avançar sense hardware (desenvolupament paral·lel hardware i software)
- Validació del programa. Validació conjunta amb pilots.
- Descartar errors d'altres fonts (per exemple hardware)

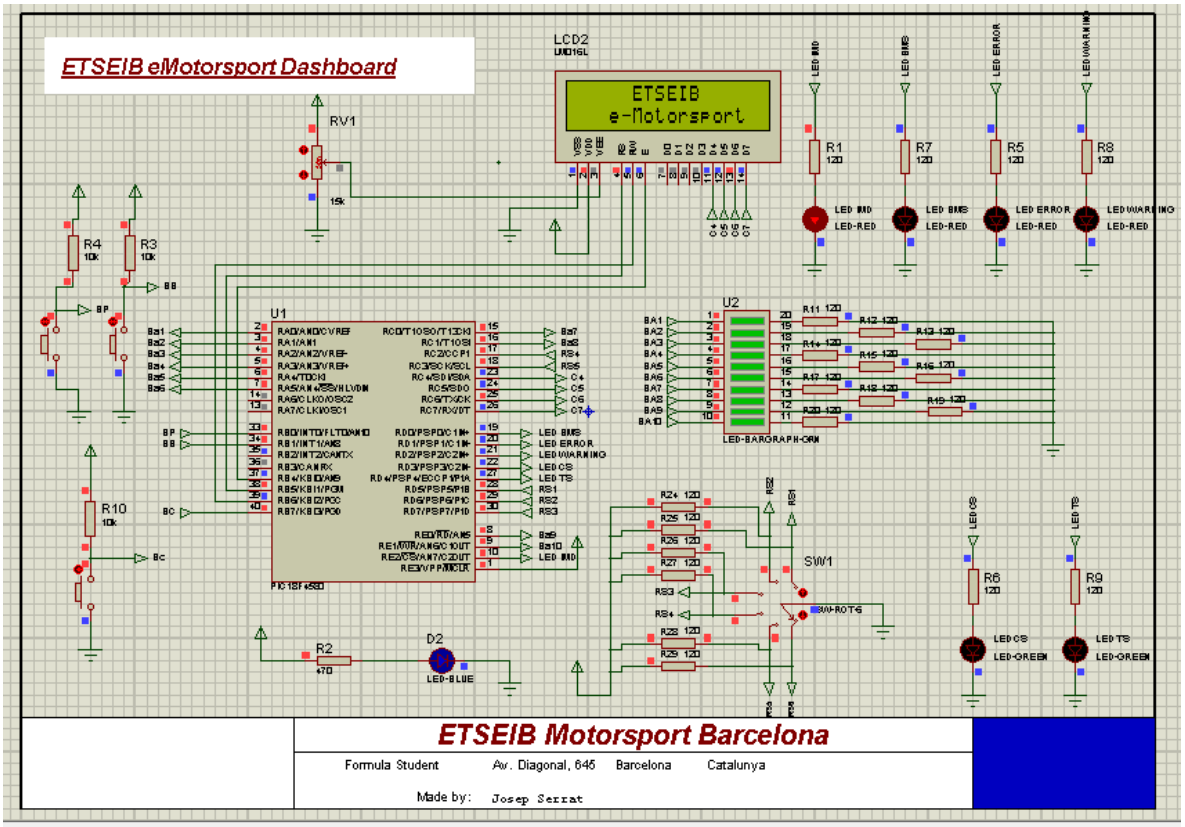


Figura 9.3. Simulació Proteus.

9.3.2. Validació funcional

A part de la validació per simulació, també es realitza una validació funcional. Per realitzar aquesta, sí que és necessari el hardware. Es fa un muntatge amb les tres plaques i una *protoboard*.

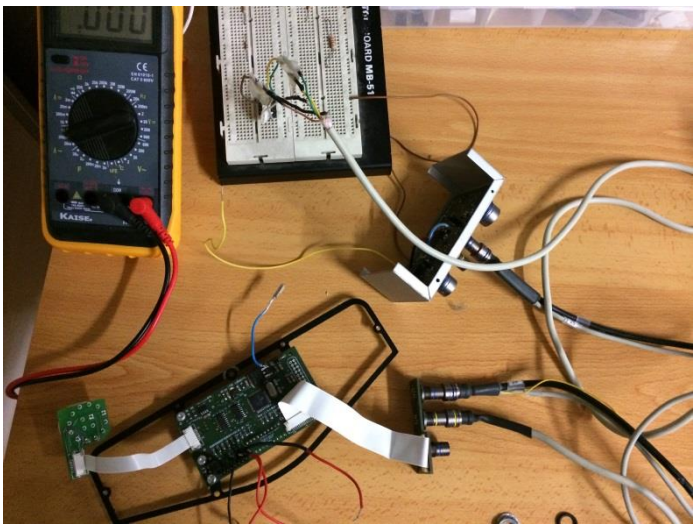


Figura 9.4. Muntatge validació Software.

10. Disseny mecànic

Una altra part molt important del quadre de comandament és el recinte on han d'anar encabides les diferents plaques electròniques. Aquest es comença dissenyant a partir d'una definició de l'espai per treballar i el posterior disseny de cadascuna de les peces. Després la unió d'aquestes i la construcció física del dispositiu.

10.1. CAD

10.1.1. Definició espai i ergonomia

Per tal de començar el disseny mecànic, el primer que es procura tenir en compte és la integració del quadre de comandaments en el vehicle. Això vol dir, harmonia amb el monocasc i vista del pilot, així com les dimensions màximes que aquest pot tenir.

Com es pot observar en la figura 10.1 es creu que la millor situació per el dispositiu és sota de la línia exterior del monocasc, just per sobre les cames del pilot. A més, es pot observar com queda per sobre el volant, permetent així plena visibilitat del pilot sobre el quadre de comandaments. Cal esmentar que les mesures de la persona segueixen les d'un 95 percentil.

Figura 10.1. Quadre de comandaments vist des del pilot.

Pel que fa les dimensions màximes, aquestes són 220x80x60 mm per tal que no hi hagi col·lisió amb el pilot més llarg (al sortir i entrar), la direcció o el monocasc (cotes més

crítiques). En les següent figura (10.3) es mostren els elements més conflictius. Es recomana mirar l'apartat D.2 de l'annex per a veure el plànol.

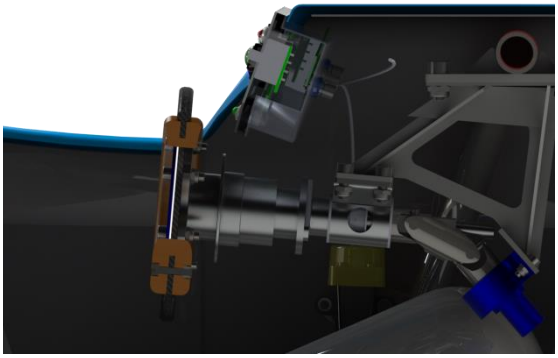


Figura 10.2. Elements conflictius.

Vistes totes les interaccions amb la resta d'elements del vehicle, es poden fixar unes primeres cotes del conjunt del recinte electrònic.

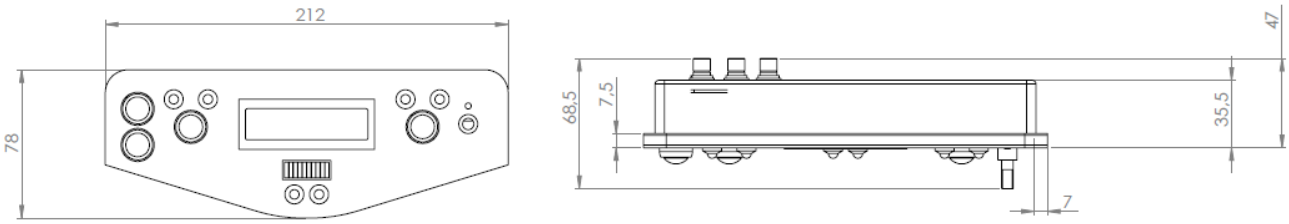


Figura 10.3. Cotes generals quadre de comandaments.

10.1.2. Disseny peces

Un cop definides les dimensions generals del quadre de comandaments, es procedeix a dissenyar les peces. Aquest dispositiu consta d'una tapa, una coberta i una peça entremig que permet fixar molts dels elements del seu interior, el fixador.

Tapa

De les peces més importants ja que és la que es veurà un cop muntat al vehicle. El primer que es decideix és la distribució de components

Es decideix fer un disseny enfocat amb les ràdios de fa uns anys.

Figura 10.4. Influències en el disseny. *Font: Google.*

Partint de la base de les influències anteriors i sobretot de l'accessibilitat del pilot a l'hora d'interaccionar amb el quadre de comandaments, es decideix fer la distribució de les següents dos figures. A l'esquerra el pilot té tots els botons que serveixen per controlar la pantalla (pujar, baixar i editar) i a la part central la visualització: des dels LEDs indicadors més crítics a la part superior, fins a la pantalla o la barra de LEDs a la inferior. A la dreta, el pilot té un selector per tal triar el mode de funcionament del cotxe i el botó d'encesa.

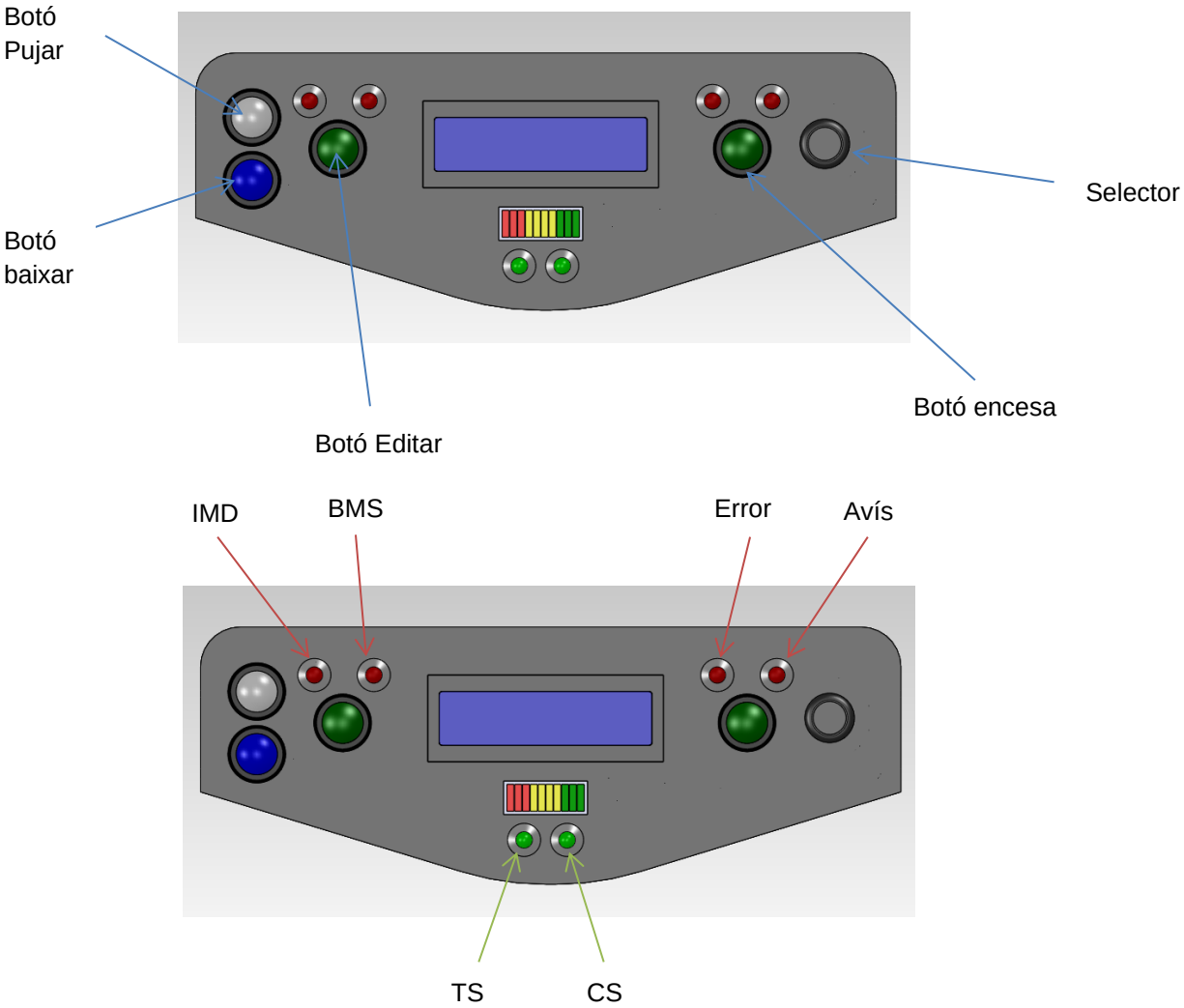


Figura 10.5. Posicionat components.

La tapa és una peça plana d'alumini de 1.5 mm de gruix.

Figura 10.6. CAD final de la tapa.

Coberta

La coberta és la part que cobreix tots els elements per la part posterior del quadre de comandaments. El principal objectiu d'aquesta és que sigui lleugera i que cobreixi totes la PCBs així com cables que hi ha a l'interior del quadre de comandaments. També hi incorpora una llengüeta per tal de poder realitzar la unió del conjunt sense problemes.

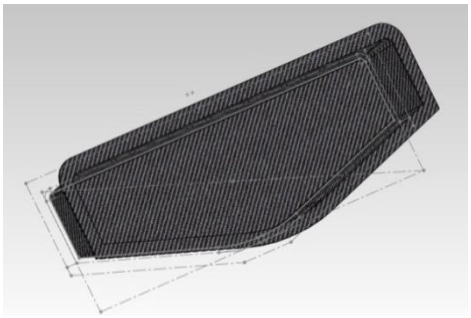


Figura 10.7. CAD final de la coberta.

Fixador

El fixador és la peça encarregada de realitzar diferents funcions. La primera, donar gruix per tal de guanya una mica d'espai entre tapa i coberta. La segona, fixar diferents components de l'interior del dispositiu com la PCB principal. I tercera i última, poder fixar el quadre de comandaments al vehicle sense necessitat de femelles i, per tant, amb molta més comoditat.

El fixador és una peça plana d'alumini de 5 mm de gruix per tal de poder fer els roscats de les fixacions amb el vehicle.

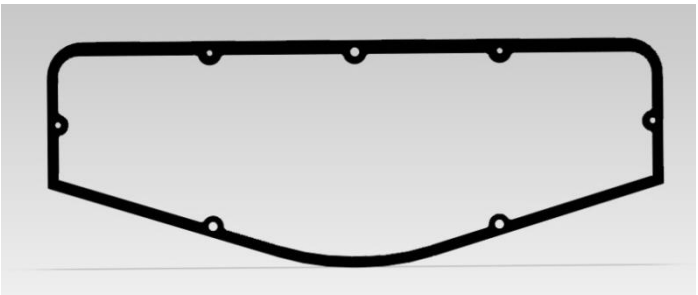


Figura 10.8. CAD final del fixador.

10.1.3. Conjunt

Un cop dissenyades les peces, es procedeix al conjunt. El quadre de comandaments per si sol s'uneix amb tres cargols mètric 3 de longitud 12 mm amb les seves respectives femelles. Internament, s'usen quatre cargols mètric 4 longitud 6 mm per unir la PCB principal amb el fixador. Aquests no necessiten femella perquè són autoroscants. Molts components com ara els botons o els porta-LEDs van roscats amb la seva pròpia femella.

La unió amb el vehicle, es realitza mitjançant quatre cargols mètric 3 de longitud 12 mm. Aquests van autoroscats amb el fixador d'alumini, permetent així collar el dispositiu al vehicle sense necessitat de posar-hi femelles. Això és una millora molt important ja que l'accés a l'interior del monocasc és molt incòmode i difícil.

Seguidament (figura 10.10) es pot observar un desplegat de tot el dispositiu.

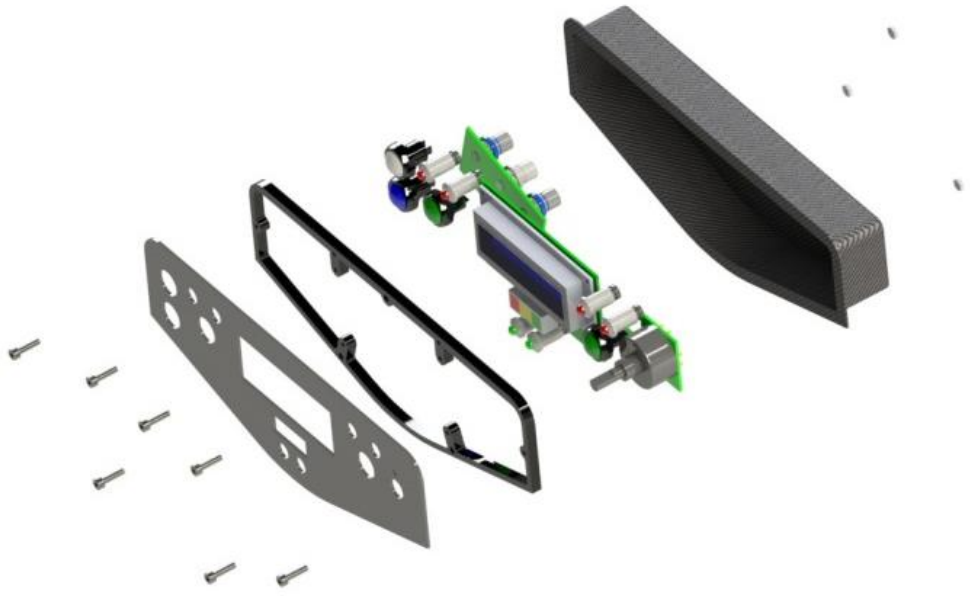


Figura 10.9. Desplegat del conjunt final.

10.2. Construcció

En aquest apartat s'explica com es fabriquen les diferents peces del quadre de comandaments.

Tapa i fixador

Aquestes peces, pel fet de ser planes i d'alumini, es realitzen mitjançant tall per aigua. Tot seguit, un cop tallades, es porten a anoditzar perquè l'alumini guanyi alguna propietat com seria resistència a la corrosió i una mica de duresa superficial.

Coberta

Aquesta peça, per tal de que sigui lleugera i barata, es decideix realitzar-la de fibra de carboni. La coberta està feta de tres capes d'aquesta fibra i una de vel de fibra vidre.

El primer que es defineix és el motlle. Aquest és de Porex. Es decideix fer-lo d'aquest material ja que és molt fàcil de mecanitzar (és molt tou) i és molt econòmic. Per tal de poder realitzar un correcte desemmotllament, es retoca la peça deixant 5 graus en totes les parets.

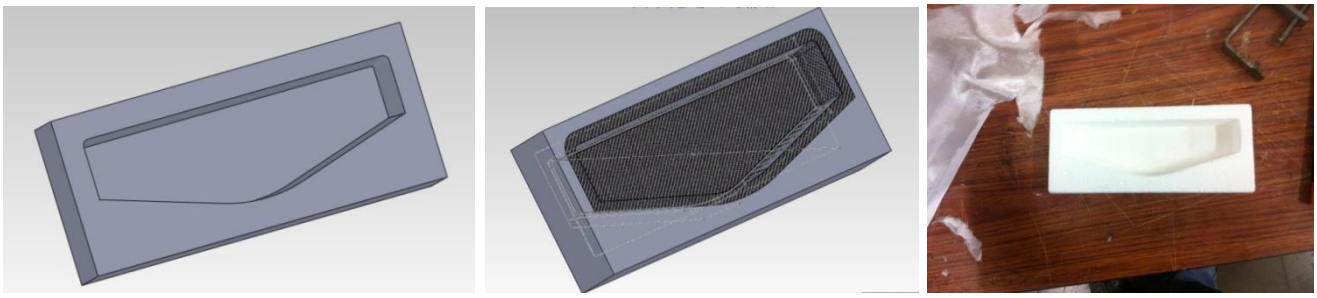


Figura 10.10. Motlle.

Un cop dissenyat el motlle i portat a mecanitzar, es procedeix a fer el laminat de la peça.

1. Aplicació de capa de fibra de vidre.

   Com que el Porex és molt tou, s'enganxa amb facilitat amb la resina del posterior laminat. Per solucionar-ho, primer es lamina una capa molt fina de fibra de vidre sense desemmotllant. Aquesta té un gruix de 0.1 mm i es lamina amb resina epoxi.

   Un cop laminat es deixa curar sense buit a temperatura ambient durant unes quatre hores per tal de que la resina catalitzi i s'endureixi.

Figura 10.11. Laminat capa fibra de vidre.

2. Aplicació desemmotllant.

   Per tal del fàcil posterior desemmotllament es posen quatre capes de cera. Hi ha moltes tipologies de desemmotllants però es tria cera ja que el motlle és porós (alcohol polivinílic en seria un altre exemple).

3. Laminat de la fibra de carboni.

   Per laminar s'usa resina epòxica i enduridor a unes proporcions 60 resina/39 enduridor. L'enduridor és un catalitzador que fa que la resina curi (endureixi) més ràpid. S'usa resina epòxica i no de polièster ja que es cura més ràpid i té millors propietats envers la fibra (més adherència,...). Aquest fet es tradueix amb peces més resistents.

   La fibra que s'utilitza és de 0.3 mm de gruix i gramatge 100g/m^2. Es posen tres capes de fibra de carboni orientades a 0-90-0º per tal que tingui bones propietats mecàniques en totes direccions.

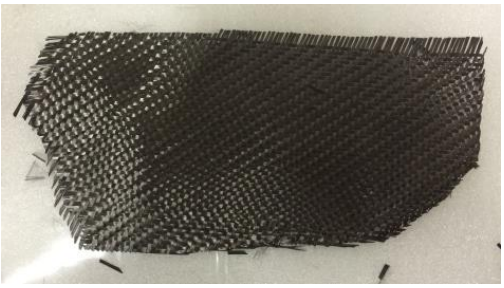


Figura 10.12. Laminat fibra de carboni.

4. Laminat fibra de vidre

   Com que la fibra de carboni és conductora elèctrica, es posa una capa final molt prima a la coberta per tal de fer-la aïllant. El vel de fibra de vidre usat té un gruix de 0,1 mm i és de densitat 49 g/m^2

5. Buit.

   El següent pas és realitzar el buit per tal que la resina i la fibra quedin ben compactades. Abans de realitzar-lo s'hi posa el film sangrador i la manta d'absorció. El primer és un film amb forats que permet filtrar la resina sobrant homogèniament cap a la manta. Això permet una millor repartició de la resina en la peça. D'altra banda, la manta és l'encarregada d'absorbir la resina sobrant.

   Un cop posat film sangrador i manta, es posa la bossa de buit, es sella tot el conjunt i es posa la bomba.

Figura 10.13. Col·locació film i buit.

6. Un cop fet el buit, i deixat curar quatre hores a temperatura ambient. Es desemmotlla, es retallen els contorns de les pestanyes i es llima. També s'hi fan el tres forats dels connectors del vehicle.

   En la següent figura (10.15), es pot observar la diferència d'acabats entre les dos cares de la coberta. Una és la del costat motlle (més bon acabat) i l'altre és la del costat de la manta de buit. La cara bona és la que dóna per fora el dispositiu.

Figura 10.14. Coberta desemmotllada.

7. Per tal de fer la coberta de fibra de carboni estanca, es posa una capa de resina epoxi. Aquesta ajuda a tapar algun forat que hagi quedat durant el curat previ o el posterior llimat.

Figura 10.15. Coberta acabada.

11. Interacció amb vehicle - Pilot

En aquest apartat es descriu com interacciona el quadre de comandaments amb el vehicle o pilot. Primer s'avalua la interacció amb aquest últim (interfície de LCD i LEDs) i després amb el vehicle (comunicació amb centraleta principal).

11.1. Interfície

La interfície és la part visual del dispositiu que permet al pilot saber diferent informació sobre l'estat del cotxe. Bàsicament consta de tres maneres possibles: els LEDs indicadors i la pantalla LCD.

LEDs

El quadre consta de dos tipus de LEDs, els d'avís o error i els d'estat del vehicle.

Els primers són LEDs vermells que s'encenen en el cas que hi hagi algun error concret en el sistema. Estan situats a la part de dalt del *dashboard*. Aquests indicadors són

Figura 11.1. LEDs indicadors d'errors.

Els encarregats de mostrar l'estat del vehicle són els dos LEDs de color verd situats a la part inferior del dispositiu i la barra de LEDs. Els primers van codificats de la manera que mostra la taula 11.1 i la barra de LEDs indica l'estat de carga de les bateries.

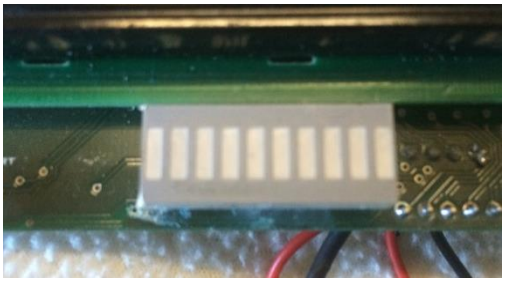


Figura 11.2. Barra del LEDs que indica l'estat de bateries.

LED 1 "CS"	LED 2 "TS"	Estat LED 1	Estat LED 2	Explicació
		Intermitència	Apagat	Esperant que tots subsistemes de baix voltatge estiguin OK
		Encès	Apagat	Tots els sistemes de baix voltatge del cotxe estan OK.
		Encès	Intermitència	Hi ha alt voltatge al cotxe, esperant botó encesa.
		Encès	Encès	Cotxe apunt per corre.

Taula 11.1. Codificació dels LEDs d'estat del vehicle.

S'entén per subsistemes de baix voltatge del vehicle: Centraleta principal, PCB de control dels inversors i sensor de pedal.

Pantalla

Pel que respecte a la interfície de la pantalla, es pot dividir en tres tipologies diferents. El primer la visualització, el segon l'edició i el tercer els avisos i errors.

A continuació es mostren un exemples de com funciona la seqüència de pantalles de visualització.

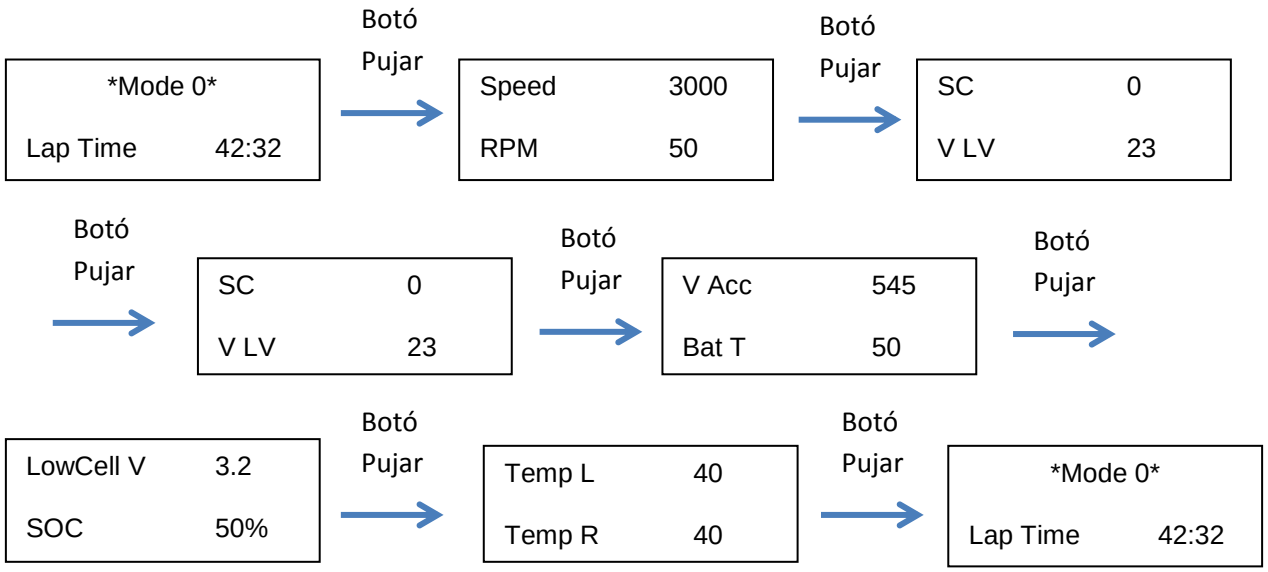


Figura 11.3. Exemple seqüència de visualització.

A continuació es mostren un exemples de com funciona la seqüència de pantalles d'edició

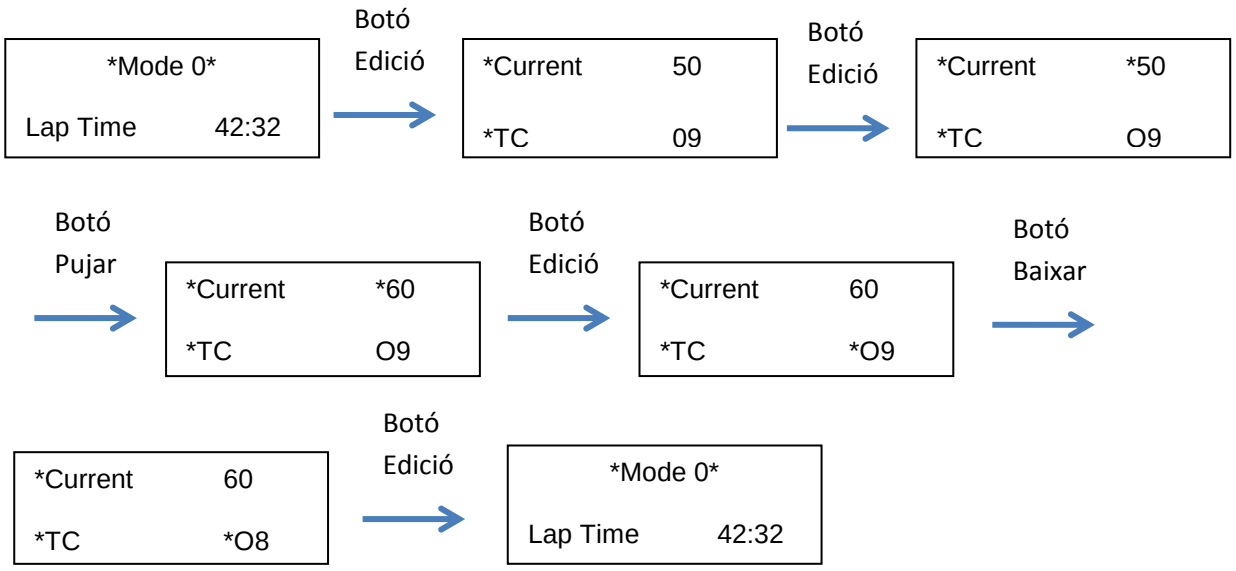


Figura 11.4. Exemple seqüència d'edició.

En el mode edició, només es pot modificar del cotxe la intensitat màxima i la influència del control de tracció. Amb el primer, el pilot pot configurar la potència màxima del vehicle (es considera que no es pot regular el voltatge de bateries de potència) i amb el segon fins a quin punt el control de tracció ha d'ajudar a la conducció del pilot. Aquests dos paràmetres estan acordats amb pilots i resta de membres de l'equip encarregats de la dinàmica del vehicle i tren de potència.

Pel que respecte als errors i avisos, hi ha els de les següents llistes (taula 11.2 i 11.3). Aquests es mostren immediatament independentment on s'estigui de la pantalla.

Errors	Avisos
inversors	Inversors
BMS	Motors
IMD	Baix voltatge
Temperatura cel·la	BSPD
Sobrevoltatge cel·la	Error normativa 1
Baix voltatge Potència	Error normativa 2
Baix voltatge control	Baix Voltatge control

Taula 11.2. Errors i avisos.

El selector torna a la pantalla d'inici quan hi ha algun canvi. Els modes del selector són:

Mode	Explicació
1	Màxim potència, màxim Control Tracció
2	Mode Estalvi Energia
3	Màxima potència poc control tracció
4	Espera (tot deshabilitat)
5	Edició pilot

Taula 11.3. Modes selector.

11.2. Comunicació

Un altre interacció amb el vehicle, concretament amb la centraleta principal, és la comunicació CAN. Aquest és un protocol sèrie i diferencial que permet usar xarxes formades per diferents nodes. Aquests poden comunicar-se de manera bidireccional entre ells a diferents velocitats.

El monoplaça de l'equip ETSEIB eMotorsport en especial té quatre xarxes CAN, una de les quals hi conté el node "quadre de comandaments". A continuació es detallen les diferents xarxes del vehicle.

Xarxa CAN	Explicació
1	Inversors
2	BMS
3	Quadre de comandaments, ECU davantera
4	Adquisició de dades, sensor velocitat

Taula 11.4. Xarxes CAN vehicle.

Com es pot observar en la taula 11.5, la xarxa del vehicle destinada al dispositiu del present projecte, és la tercera i la comparteix amb a centraleta del davant del vehicle. Aquest fet és important per tal de tenir en compte la saturació del bus.

Concretament la tercera xarxa funciona a una velocitat de 500kb/s. La comunicació CAN pot anar fins a 1Mb/s. Configurant la comunicació a aquesta velocitat, s'ha comprovat fent diferents proves que algun missatge es perdia. Hi ha molts factors que poden alterar missatges, des de la saturació del bus, longitud de cables, tipologia del cablejat, pas del cablejat,...Com que la velocitat no es crítica, per assegurar el correcte enviament de tots els missatges, es configura a 500kb/s. (mirar apartat 12. Validació del conjunt)

Els següents missatges són els que el *dashboard* llegeix o escriu a la xarxa CAN.

Id	Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7
(L) 200	Mode	Lap Time	Speed	SC	SOC LV			
(L) 201	V accu.	Max. Temp.	Lowest cell V.	SOC				
(L) 202	Temp ML	Temp MR	RPM				Current	TC
(L) 203	Warnings	Warnings	LEDS (CS, TC, Fault, IMD, BMS)	.				
(E)210	Mode	TC	Current					

Nota: (L): llegit, (E): escrit (punt de vista quadre de comandaments)

Taula 11.5. Missatges CAN del quadre de comandaments.

Amb el programa de lectura de CAN Bus Master, es pot observar els diferents missatges, tant els valors físics com graficar-los. A continuació es mostren un parell d'exemples:

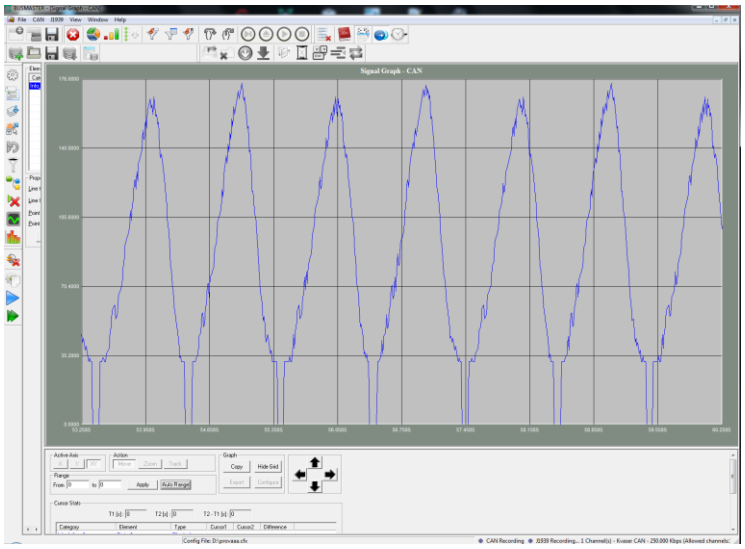


Figura 11.5. Exemple de lectura de missatge CAN .

A part, també mirem la saturació del bus amb la centraleta davantera del vehicle a través del mateix programa i obtenim els següents dades:

Concepte	Quantitat
Missatge enviats	23887
Msgs/s	354
Errors	0
Càrrega	33,81%
Pic de càrrega	33,95%

Taula 11.6.Dades del bus CAN .

12. Validació conjunt

Un cop es té tot el conjunt es procedeix a validar-lo. Per tal de fer-ho, es realitzen diferents proves. Primer s'avalua des del punt de vista mecànic i després des del punt de vista elèctric. Per tal de fer el pla de validació, es munta el dispositiu al vehicle.

Figura 12.1.Dispositiu muntat al vehicle.

Per les sol·licitacions mecàniques es realitzen quatre proves:

Muntat i desmuntat: Es munta i es desmunta el dispositiu unes quantes vegades. Aquesta prova és important per tal de comprovar si les fixacions amb els cargols autoroscants aguanten bé.

***Driver Egress*:** Aquesta prova consisteix en que el pilot surti del vehicle en un temps determinat. S'ha de fer per normativa. És interessant realitzar-la amb el *dahsboard* posat ja que la sortida del pilot és crítica i el dispositiu és molt susceptible a rebre diversos cops. Es realitzen quatre vegades les proves amb els dos pilots més alts de l'equip.

Vehicle en parat: Aquí s'avalua la visibilitat que té el pilot amb el cotxe en parat i com de còmode es pel pilot editar la configuració del cotxe. És important aquesta prova ja que és normal que passin minuts abans de la sortida, moments amb molt estrès.

Vehicle en funcionament: Aquí s'avalua la visibilitat que té el pilot en un circuit determinat i en el cas que aquest vulgui editar alguna cosa, que ho pugui fer amb comoditat.

Per les sol·licitacions elèctriques es realitzen un parell de proves:

Visualització correcte amb monoplaça encès: Amb el cotxe encès (no potència) es mira si totes les dades es visualitzen correctament.

Visualització correcte amb monoplaça en moviment: Amb el cotxe en moviment s'avalua si les dades es visualitzen correctament. Aquest punt és molt important ja que amb el quadre de comandaments anant a 1Mb/s es pot comprovar com es perden dades. Per aquest fet s'ha decidit baixar la velocitat a 500kb/s. Com s'ha comentat anteriorment en la memòria, es comprova la saturació del Bus abans de fer el canvi de velocitat definitiu. Es pot observar que la saturació incrementa en un 8,5% passant de 25,3 a 33,8%.

13. Gestió projecte

En aquesta secció es descriuen documents que s'han fet o tingut en compte a l'hora de realitzar el projecte. En són exemples el *Master plan*, el FMEA o la normativa per la qual tots els monoplaces de la Formula Student es basen.

13.1. Master Plan

En aquest apartat es detalla el Master plan seguit per realitzar el quadre de comandaments. Aquest document és molt important ja que aquest projecte s'emmarca dins d'un altre de més global com és la Formula Student. Això vol dir temps molt ajustats, dependre de molta gent (empreses, altres seccions de l'equip) i que molta gent depengui de tu.

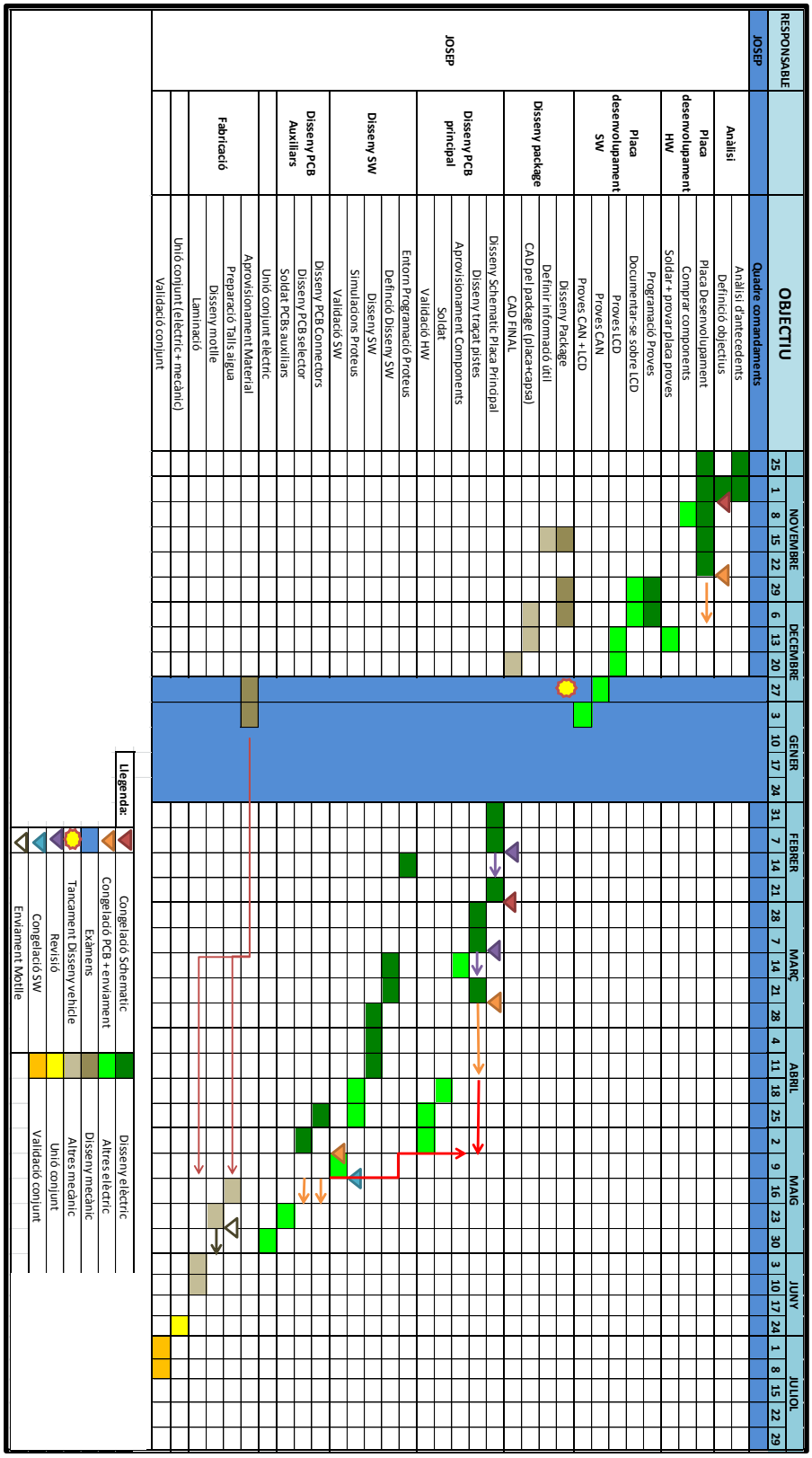
Com es pot observar en la següent taula (8.1) es diferencien clarament dos etapes del projecte. La primera fase de recerca i disseny i la segona de construcció i validació. En realitat en falta una tercera: la de avaluació en competició. Aquesta però s'analitza per separat.

En la primera fase, per una part es destaca la recerca d'antecedents i la definició d'objectius. Abans del descans per exàmens també es realitza el disseny mecànic per tal de realitzar l'aprovisionament durant el període de descans i complir amb el tancament de *Package* del monoplaça. També es realitza una placa de proves que permet fer un primer contacte amb l'entorn i fer-se una idea més acurada del *timming* per la resta de l'any. La part més important, però, és la de disseny de esquema elèctric i PCB de la PCB principal

De la segona en podríem destacar la fabricació i el re-disseny. En aquesta part del master plan és quan entren en joc altres factors com empreses externes al projecte i cal tenir-les en compte. Degut a la seva complexitat, s'ha cregut que la part més crítica era la de la PCB principal. Per aquest fet, s'ha decidit fer dos enviaments de fabricació de plaques: un primer per la PCB principal sola i un segon per les auxiliars i, si fes falta, una segona iteració de la primera.

Un altre factor que també depèn molt d'empreses és l'aprovisionament dels materials per construir el recipient. Per aquest fet el disseny s'ha realitzat abans d'exàmens deixant així un parell de mesos.

Ja per acabar el master plan acaba a la primera quinzena de juliol ja que és quan el cotxe fa les proves dinàmiques. La primera setmana per avaluar tot el conjunt la resta per avaluar altres parts del vehicle.



Taula 13.1. Master Plan del quadre de comandaments.

13.2. FMEA

En aquest apartat s'exposa l'anàlisi dels modes de fallida i efectes (Failure Modes and Effects Analysis en anglès) que es poden tenir en el producte, en aquest cas, el monoplaça de Formula Student.

L'anàlisi es fa a partir de tres conceptes: la severitat, l'ocurrència i la detecció. El primer respon a la pregunta de com de greu és la fallida, el segon com de freqüent és aquesta i el tercer com de fàcil és detectar-la. Aquests modes tenen rangs, essent el número més baix, el menys crític i com més alt, més perillós.

Un cop establerts els rangs per cada mode de fallida, es té automàticament el mode Risc. Aquest és la multiplicació del tres factors i et permet saber com de crític és el mode de fallida. S'estableix un rang de risc crític, si es supera el qual, s'haurà de redissenyar el producte. En el nostre cas és de quaranta. Com es pot observar en la següent taula (8.3) cap risc supera aquest valor.

Hi ha molts tipus de FMEA, en aquest cas aquest és de producte final amb la qual cosa s'avaluen els modes de fallida que el producte pot tenir un cop en funcionament. En seria un altre exemple un FMEA de disseny que s'hauria de fer abans d'aquesta fase esmentada.

Rang	Severitat (S)	Ocurrència (O)	Detecció (D)
1	Cap dany pot ser causat, però la seguretat en general es veu afectada.	Molt improbable	Es detecta sempre.
2	Danys no seriosos poden ser causats amb aquesta fallida.	Relativament poc provable	Moltes probabilitats de detectar-lo.
3	Danys mitjans poden ser causats amb aquesta fallida.	Ocasionalment	Possibilitats mitjanes de detectar l'error.
4	Danys importants poden ser causats amb aquesta fallida.	Bastant freqüent	Poques maneres de detectar-lo.
5	Danys crítics poden ser causats amb aquesta fallida.	Constantment	L'error no pot ésser detectat

Taula 13.2. Explicació dels indicadors del FMEA.

FSE 2013 FMEA												
Núm	**Component**	**Mode Fallo**	**Causa Fallo**	**Efecte Fallo**	**S**	**Raonament severitat**	**O**	**Raonament ocurrència**	**D**	**Raonament detecció**	**R**	**Tractament fallo**
1	Quadre de comandaments /elèctric	No aliemtació	Cable trencat.	Pilot no té informació	1	No se sap quin set up té el cotxe.	2	Connectors amb contacte rotatiu i pensats per automoció.	1	Quadre no funciona, Inspecció visual	2	Repasar cablejat del dispositu abans de cada cursa.
2	Quadre de comandaments /elèctric	No GND	Cable trencat.	Pilot no té informació	1	No se sap quin set up té el cotxe.	2	Connectors amb contacte rotatiu i pensats per automoció.	1	Quadre no funciona, Inspecció	2	Repasar cablejat del dispositu abans de cada cursa.
3	Quadre de comandaments /elèctric	Curtcircuit GND i Alim	Vibracions excessives, connector massa forçat.	Possible xispa cremada d'algun component.	2	El quadre de comandaments està aprop del pilot. D'altra banda, seria intern i quedaria dins del recinta del dispositiu.	2	Cargols fluixos degut a cops que el dispositiu reb. Connector una mica desgastat degut a treure i posar el quadre diverses vegades. D'altre banda connectors especials automoció.	1	Quadre no funciona, Inspecció visual	4	Fussible. Canviar-lo. Revisar cargols abans de cada cursa.
4	Quadre de comandaments /elèctric	No comunicació CAN	Interferències, mala configuració	Pilot no té informació	2	No se sap quin set up té el cotxe.	2	Connectors amb contacte rotatiu i pensats per automoció.	2	Quadre funciona però totes les	8	Afegir funció d'error CAN.
5	Quadre de comandaments /elèctric	SW no funciona com esperat.	Interferències, mal contacte, mala configuració SW.	El pilot no té informació esperada del vehicle.	1	El pilot tindrà accés a informació parcial del vehicle.	2	Possibles fonts d'interferència lluny físicametnt del dipositiu. Però moltes vibracions en cursa.	2	Inspecció visual. Depèn de quina mala configuració pot ser difícil de detectar.	4	Revisió del funcionament del quadre de comandaments just abans de cada cursa. Pla de
6	Quadre de comandaments /mecànic	Cargol trencat	Pilot al sortir i entrar ràpid. Cop amb les cames mentre	Possible caiguda d'una part del quadre.	1	Si es trenca d'una part, el pilot el podria continuar usant però amb cuidado.	2	És possible ja que hi ha quatre cargols i la rosca està en el propi alumini (no femella).	2	Al pilot a l'hora de usar-lo.	4	Reparar-lo un cop a boxes.
7	Quadre de comandaments /mecànic	Dash es desfixa completament	Pilot al sortir i entrar ràpid. Cop amb les cames mentre condueix.	Caiguda del quadre sencer.	2	El pilot no podria usar el quadre de comandaments. No tindria cap mena d'informació del cotxe. El quadre molestaria la conducció del pilot.	1	El cop hauria de ser molt fort (està collat per quatre punts amb el cotxe).	1	Inspecció visual.	2	Reparar-lo un cop a boxes.
8	Quadre de comandaments /mecànic	Cau coberta	Afluixen cargols de unió entre coberta i tapa.	El quadre té totes les parts elèctriques a l'aire.	3	Totes les parts electròniques amb directe contacte del pilot. Si plou poden haver-hi problemes greus. Si en cusa, la peça pot molestar al pilot.	1	Està sobrefixada i unida per quatre punts.	1	Inspecció visual.	3	Reparar-lo un cop a boxes.

Taula 13.3. FMEA del quadre de comandaments.

14. Impacte ambiental

Pel que respecte a l'impacte ambiental del present projecte, aquest pot ser dividit en diferents parts. Primer de tot, en els residus en l'etapa de fabricació i muntatge de les parts elèctriques. Després, per l'impacte generat per les parts mecàniques del quadre de comandaments.

14.1. Impacte ambiental de les parts elèctriques

Per avaluar l'impacte ambiental de les parts elèctriques, es podrien considerar de dos tipus diferents: els que es generen durant el procés de fabricació de les PCB i els que es generen durant el procés de soldadura dels components.

Pel que respecte la primera, quan es fabriquen les PCBs, es generen residus de coure, fibra de vidre preimpregnada, carboni per l'electròlisis, film fotosensible,...). Tots aquests són dipositats per la empresa en els respectius centres de reciclatge.

D'altra banda, es podrien anomenar els residus que es generen en la soldadura dels components. En són exemples l'estany sobrant, o flux. El primer s'usa sense plom i el flux és un conductor tèrmic que bàsicament està fet a partir d'alcohol i resines, és a dir, no té un impacte sobre el medi ambient considerable.

En aquest apartat també cal esmentar que totes les PCB han estat fabricades complint la directiva RoHS. Aquesta, que va entrar en vigor l'any 2006, restringeix l'ús de sis substàncies en la fabricació d'equips elèctrics i electrònics. Les substàncies esmentades són: el plom, el mercuri, el cadmi, el crom VI, PBB i el PBDE. L'acabat de les plaques del dispositiu són de plata química per tant compleix el 100% amb la directiva.

14.2. Impacte ambiental de les parts mecàniques

En aquesta apartat principalment es té en compte l'impacte ambiental que es produeix al fabricar la part mecànica del quadre de comandaments.

Pel que respecte les dos primeres peces (fixador i coberta) l'impacte seria el necessari per produir l'alumini. Durant el procés d'obtenció d'aquest material, es generen moltes emissions de CO_2 i es consumeix molta energia. Ara bé, la quantitat de material que es necessita per la fabricació de les peces és es podria considerar que generen una quantitat de CO_2 quasi nul·la. Els residus que es generen pel tall amb aigua són dipositats als corresponents contenidors de reciclatge selectiu.

Pel que respecte la part de fibra, aquest té en la fabricació el principal impacte ambiental. Per produir- la es necessiten grans quantitats d'energia i emissions de CO_2. Com en les peces d'alumini, és tan poca la quantitat de material usat que l'aportació de CO_2 és baixíssima. El que sí que és bastant difícil avui en dia és el reciclatge de la fibra de carboni. Degut a que és un material relativament nou a nivell de comercialització, fa que actualment costi molt trobar empreses que reciclin aquest material. Actualment hi ha molts centres de desenvolupament per tal de trobar la millor manera de reciclar-lo però cap de massa clar. Sobretot interessa a les empreses que comencen a comercialitzar productes en grans quantitats Hi ha diferents processos que s'usen com la pirròlisi o processos químics que sembla que aconsegueixen tenir una fibra on les propietats del material reciclat només varien entre un 3-5%. De tota manera, el que sí que és indispensable per qualssevol dels processos que s'estan començant a aplicar, és el fet que no hi hagi cap tipus d'adherent termoplàstic entre les capes del compost. La importància rau en que és molt difícil la separació dels dos components. En el cas del dispositiu del present projecte no s'usa cap adherent.

15. Pressupost

En aquest punt s'exposa el cost total del projecte realitzat. El cost final del projecte s'ha dividit en tres parts: costos de hardware, costos de mecànics, costos desenvolupament i costos totals.

15.1. Costos de hardware

En aquest apartat es detallen els costos de hardware. Aquests estan dividits en cost de components de circuits impresos (les tres PCB de les que disposa el quadre de comandaments), cost de components del dispositiu, cost de soldadures i cost del cablejat.

Primer de tot es detallen els costos de les tres PCB de les quals consta el quadre de comandaments:

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
Connector	3	8,2	24,6	Connector LEMO
Connector 16	1	1,3	1,3	Connector Molex pla 16 vies
PCB	1		23,4	Bicapa, 35 µm gruix coure, classe 4
TOTAL			**49,3**	

Taula 14.1. Costos de components circuit imprès PCB connectors.

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
Selector	1	3,2	3,2	
Connector 8	1	1,1	1,1	Connector Molex pla 8 vies
PCB	1		23,4	Bicapa, 35 µm gruix coure, classe 4
TOTAL			**27,7**	

Taula 14.2. Costos de components circuit imprès PCB selector.

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
PIC18F4580	1	5,3	5,3	Microcontrolador
LED 1206	1	0,3	0,3	LED sortida regulador
MCP2551	1	0,78	0,78	Transceptor CAN
R 120 1206	1	0,095	0,095	
R 47 1206	1	0,095	0,095	
R 10k 1206	9	0,095	0,855	
R 470 1206	17	0,095	1,615	
C 15pF 1206	2	0,09	0,18	
C 1uF 1206	1	0,1	0,1	
C 0,33uF 1206	2	0,04	0,08	
C 0,1uF 1206	7	0,03	0,21	
Pin head	20	0,15	3,0	Connector resistència final de Bus i cables LEDs
HCF4010	2	0,1	0,2	Adaptador 5-3,3V digitals
Cristall 20MHz	1	0,45	0,45	Cristall oscil·lador microcontrolador
HDSP-4832	1	5,1	5,1	Barra LEDs
Pantalla LCD	1	14,6	14,6	
L7805	1	0,57	0,57	Regulador 12-5V
IN4004	1	0,2	0,2	Díode protecció
MIC5265	1	0,26	0,26	Regulador 5-3,3V
Connector 16	1	1,3	1,3	Connector pla 16 vies
Connector 8	1	1,1	1,1	Connector pla 8 vies
P6504	1	0,3	0,3	Polsador reset microcontrolador
PCB	1		36,7	Bicapa, 35 µm gruix coure, classe 4
TOTAL			**73,44**	

Taula 14.3. Costos de components circuit imprès PCB principal.

Tot seguit, es mostren desglossats el costos de diversos components del quadre de comandament que no són PCB les soldadures i el cablejat:

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
LED vermell	4	0,9	3,6	LED alta lluminositat
LED verd	2	0,9	1,8	LED alta lluminositat
Polsador	4	1,9	7,6	Botons
Porta-LEDs	6	0,8	4,8	
TOTAL			**17,8**	

Taula 14.4. Costos components quadre.

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
Soldadura SMD	116	0,5	58	Soldadures components SMD
Soldadura TH	34	0,2	6,8	Soldadures components TH
Soldadura cablejat	4	0,2	0,8	Soldadures connectors/cables
TOTAL			**65,6**	

Taula 14.5. Costos de soldadures.

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
Cablejat Senyal	1 m	0,39	0,39	Cable 0,75
Cablejat CAN	0,250 m	2,4	0,6	Cable 2x0,75 Trenat i apantallat
Cable tira	0,25 m	2	0,5	Soldadures connectors/cables
Termoretràctil	0,3 m	4,2	1,26	
Terminals	12	0,1	1,2	Unió LEDs
Cargolat	8	0,01	0,08	Cargolat cables botons
TOTAL			**4,03**	

Taula 14.6. Costos cablejat.

15.2. Costos mecànics

En aquest apartat es descriu el pressupost de la part mecànica del dispositiu. Aquests principalment es composen del costos associats al laminat de fibra i els de les dos peces d'alumini.

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
Cera	0,02	10	0,2	Desemmotllant
Fibra de vidra	2x0,025m^2	10,23	0,51	Vel de fibra de vidre
Fibra de carboni	3x0,025m^2	28,95	2,17	200 gr *Twill*
Resina + Enduridor	0,2l	27,55	5,52	Resina epòxica
Manta	0,05m^2	1,63	0,08	Manta absorció
Film sangrador	0,025m^2	0,50	0,02	
Sellador	0,5 m	0,5	0,25	Sellador bossa de buit
Bossa de buit	2x0,04m^2	0,50	0,04	
Porex	0,002m^3	10	0,02	Material motlle
Fresat motlle	1	10	10	Fresat senzill sense gir de peça, material tou.
Llimat	0,3 h	5	1,5	
Forat connector	3	0,02	0,06	Forat connectors LEMO
Alumini 1,5 mm	0,02m^2	50	1	Alumini tapa
Alumini 5 mm	0,02m^2	75	1,5	Alumini fixador
Tall aigua	2	3	6	Procés de tall per l'alumini
Cargols	4	0,2	0,8	
Femella	4	0,2	0,8	
Cargols autoroscants	4	0,3	1,2	
TOTAL			**31,67**	

Taula 14.7. Costos mecànics.

15.3. Costos desenvolupament enginyeria

A continuació es descriuen els costos associats al desenvolupament del producte, en són exemples costos de software usat (eines) i hores d'enginyeria.

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
Altium	1	800	800	Llicència estudiant 1 any
MPLAB IDE	1	0	0	Entorn de programació. Versió estudiant.
C18	1	0	0	Compilador PIC C18. Versió estudiant.
Pickit 2	1	33,4	33,4	Programador PIC18
BusMaster	1	0	0	Analitzador de CAN. Llicència software lliure.
SolidWorks 2011	1	0	0	Versió estudiant
TOTAL			**833,4**	

Taula 14.8. Costos eines desenvolupament.

En les hores d'enginyeria es té en compte les següents partides. Es considera que el cost unitari d'un enginyer estàndard és de 50 €/h.

Concepte	Quantitat	Cost unitari (€)	Cost total(€)	Descripció
Estudi previ	50	50	2500	
Disseny i desenvolupament	310	50	15500	
Fabricació prototip	100	50	5000	
Validació	150	50	7500	
TOTAL			**30500**	

Taula 14.9. Costos d'enginyeria.

15.4. Cost total

Concepte	Cost total(€)
Costos PCB connectors	49,3
Costos PCB selector	27,7
Costos PCB principal	73,44
Costos components quadre	17,8
Costos soldadura	65,6
Costos cablejat	4,03
Costos mecànics	31,67
Costos eines de desenvolupament	833,4
Costos d'enginyeria	30500
TOTAL	**31602,94**

Taula 14.10. Costos totals.

CONCLUSIONS I FUTURES LÍNIES DE TREBALL

Una vegada més en el treball, es dividiran les conclusions en els tres eixos més importants: hardware, software i mecànic.

Per la primera part, el hardware, d'entrada es podia haver millorat l'esquema elèctric tot afegint més proteccions com per exemple alguna PTC a l'entrada o protegint les entrades digitals amb algun díode Zener per limitar la tensió. Fins i tot es podrien haver afegit filtres (per exemple en el CAN). Aquest fet potser hagués pogut fer que el CAN funcionés a 1Mb/s.

Seguint amb hardware, ara en la construcció, també és cert que es podria haver soldat a una empresa externa. Algun problema de soldadura no hagués passat i s'hagués estalviat temps en la verificació. També és veritat que els membres de la formula Student no haguessin après a soldar per ells mateixos i això, parlant en termes de Formula Student, és molt important. A més, externalitzant la soldadura, s'hagués pogut fer revisió òptica la qual cosa la validació del hardware quedaria amb una de purament funcional.

Pel que respecte el software, aquest no s'ha fet tan fàcil de comprendre com s'havia marcat prèviament als objectius. L'estructura es podria haver fet molt més neta amb algun nivell més. També es podria haver optimitzat més, fent ús de més subnivells i subfuncions. Parlant en temes de interacció amb el pilot, s'hauria d'haver mirat una altre manera de mostrar les RPM ja que només mostrant el número, el pilot no té una referència prou senzilla i clara. Potser unes barres o uns LEDs haguessin estat millor.

Ja en l'últim bloc, la part mecànica, el principal error ha estat la estanqueïtat, ja que per temes de *timming* al final del projecte no es va tenir prou temps per avaluar-lo. A més es podria millorar una mica més l'accessibilitat per corregir quelcom, és a dir, l'objectiu inicial de poder extreure i muntar el quadre de comandaments amb facilitat s'ha complert, però un cop fora i haver de corregir qualsevol cosa del seu interior, encara es fa una mica complicat.

Ja per finalitzar, com a conjunt global i mirant la temporada, es pot concloure que s'han assolit els objectius principals. Tenir un dispositiu que ajudés a la conducció del pilot, que pogués mostrar què està passant al monoplaça. També, si es té en compte els valors base de la Formula Student, és a dir, aprendre i aplicar els coneixements de classe a la realitat, aquest projecte ha complert els objectius amb escreix. A part, ha estat molt enriquidor, sobretot per la globalitat, s'han pogut aprendre temes molt variats. Des de com realitzar una PCB a tractar fibres de carboni. I el fet de no només fer-ho de forma teòrica, sinó que poder-ho fer un mateix amb les pròpies mans, no té preu.

AGRAÏMENTS

En aquestes properes paraules m'agradaria agrair totes les persones que han estat presents durant el meu projecte de final de carrera.

Primer de tot, al meu professor, Manuel Moreno, que no només al llarg del projecte m'ha assessorat en temes d'electrònica, sinó que també durant la meva estada a la Formula Student. Han estat tres anys amb ell, des dels inicis on estava fent tercer i no en tenia ni idea de què era una PCB fins a l'últim any.

També agrair als meus trenta tres companys d'equip que també han participat directament o indirectament al projecte, ja sigui aguantant preguntes fins al punt de fer-me pesat o pel simple fet de estar "jugant" algun dia amb el quadre de comandaments. En especial, als meus companys de la secció d'electrònica. Encara recordo les nits que ens quedàvem a treballar perquè tot tirés endavant. Molt possiblement era una bogeria, però apreníem moltíssim.

També m'agradaria fer una menció especial als meus pares, Cesca Orri i Josep Serrat, i ma germana, Regina Serrat, per tot el suport donat. Sobretot en aquells moments que no sabia per on tirar o què fer. O en aquells moments que em faltava una empenta per tirar endavant i continuar treballant. També un agraïment molt especial per Sílvia Trillo que en moments de caiguda sempre m'ha animat. Pels *skypes* que deia que no podia més i tu m'obligaves a seguir.

Finalment a totes aquelles empreses que desinteressadament han ajudat al projecte Formula Student i, com a conseqüència, al quadre de comandaments. M'agradaria esmentar les més properes tot i que segur que me'n deixo alguna: Labcircuits, Lemo, Mouser, ModelPorex, Aquatall, Molex...Totes aquestes empreses no només han donat suport a una colla d'estudiants que fan un "cotxet", sinó que han ajudat una forma d'aprendre i complementar uns estudis d'enginyeria superior industrial que moltes universitats avui en dia volen copiar.

Moltes gràcies a tots,

BIBLIOGRAFIA

Referències bibliogràfiques

[1]MICROCHIP TECHNOLOGY INC. CANB. Arizona.

[http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010405,Juny 2013]

[2]MICROCHIP TECHNOLOGY INC. MPLAB. Arizona.

[http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/, Juny 2013]

[3]SAE INTERNATIONAL, Anglaterra

[http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2013fsaerules.pdf, desembre 2012]

[4]FORMULA STUDENT GERMANY, Alemanya

[https://www.formulastudent.de/fse/2013/rules/, desembre 2012]

[5]Lab Circuits SA, Sta. Maria de Palautordera

[http://www.lab-circuits.com/es/para_fabricacio_multicapa.php, febrer 2012]

Altres referències

IBRAHIM, DOGAN. *Programación de microcontroladores PIC.* Kidlington, Marcombo, S.A., 2006.

VV.AA. *Interferencias electromagnéticas en sistemas electrónicos*. Barcelona, Marcombo, S.A., 2005.