Resum

Aquest projecte tracta tant de la implementació del hardware com de la implementació del software d'una centraleta electrònica (que a partir d'ara anomenarem *Dashboard*) dissenyada completament per un estudiant de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona i pensada per ser implementada en el conjunt del monoplaça elèctric de competició CAT08e dissenyat per a la Fórmula Student.

Aquesta centraleta doncs, serà la encarregada de subministrar un seguit d'informació sobre els diferents estats del cotxe a través d'un display per tal de que el pilot no només n'estigui informat, sinó que actuï en conseqüència per tal d'optimitzar el funcionament del vehicle en cursa.

En aquest treball s'explicarà, a part dels antecedents que ens han portat a la confecció d'aquesta centraleta totalment nova, la solució final tant del hardware com del software de la centraleta escollida pels membres de l'equip de la secció d'electrònica. Cal destacar el curt període de temps del que es disposa alhora de fer tot el procés (deu mesos), ja que en la indústria de la automoció aquest és un procés de disseny iteratiu que es pot allargar fins als 2 anys fàcilment.

A més de tot l'esmentat amb anterioritat, s'explicaran també les eines utilitzades per dissenyar tant la PCB com el programa de software principal de la centraleta, per tal de fer més entenedora la explicació del procés constructiu de l'ECU.

Finalment, cal dir que dins de l'atmosfera d'un equip de Fórmula Student, el disseny de la centraleta ajudarà als equips de temporades vinents a tenir un coneixement més acurat sobre el funcionament d 'aquesta i per tant oferirà un suport per tal d'efectuar possibles millores tant en el disseny físic com en el disseny de software.

Sumari

RESUM 1

SUMARI 3

1. GLOSSARI 7

2. ÍNDEX DE FIGURES 10

3. ÍNDEX DE TAULES 11

4. PREFACI 12

4.1. Origen del projecte 12
4.2. Motivació 12
4.3. Requeriments previs 13

5. INTRODUCCIÓ 14

5.1. Objectius del projecte 14
5.2. Abast del projecte 15

6. ANÀLISI D'ANTECEDENTS I VIABILITAT 16

6.1. Anàlisi d'antecedents dins de l'ETSEIB Motorsport 16
6.1.1. CAT06e 16
6.1.2. CAT07e 17
6.2. Antecedents en la competició de Fórmula Student 17
6.3. Viabilitat del projecte 18
6.3.1. Viabilitat tècnica 18
6.3.2. Viabilitat econòmica 19
6.3.3. Viabilitat ambiental 19

7. ESPECIFICACIONS 20

7.1. Característiques generals i proposta d'arquitectura 21
7.2. Necessitats del pilot 22
7.2.1. Ergonomia 22
7.2.2. Informació a mostrar 23

8. PLANIFICACIÓ 24

9. PROGRAMARI 25

9.1.1. SOLIDWORKS 25
9.1.2. ALTIUM 25

9.1.3. PROTEUS 25
9.1.4. MPLAB IDE....26

10. DISSENY DE HARDWARE 27

10.1. Main Control Unit 28
10.1.1. Mòdul d'alimentació 28
10.1.2. Mòdul de processament digital 30
10.1.3. Mòdul de comunicació 30
10.1.4. Separació dels mòduls....32
10.2. Display Unit.... 33
10.3. PCB Selector de modes.... 34
10.4. Connectors.... 36

11. DISSENY DEL SOFTWARE 37

11.1. Estructura del software 37
11.1.1. Headers 38
11.1.2. LCD....39
11.1.3. Modes i Estats 40
11.1.4. Registres SPI 41
11.2. Programa principal.... 41
11.2.1. Estructura del programa principal 41
11.2.2. Funcionament del programa principal....43

12. DISSENY MECÀNIC 46

12.1. Disseny CAD del conjunt Dashboard 46
12.1.1. Espai disponible i ergonomia 47
12.2. Ensamblatge del conjunt Dashboard.... 49
12.2.1. Main Control Unit 49
12.2.2. Display Unit i elements del xassís....50

13. COMUNICACIÓ ECU – PILOT –VEHICLE 52

13.1. Interacció ECU-Pilot.... 52
13.1.1. Interfície 52
13.2. Comunicació ECU-Vehicle 54
13.2.1. Comunicació CAN....54

14. TEST I VALIDACIÓ 56

14.1. Proves de hardware.... 56
14.2. Proves de software 57
14.3. Proves de muntatge i cursa 57

15. PRESSUPOST ECONÒMIC 59
15.1. Costos de hardware 59
15.1.1. Material fungible 59
15.1.2. Material no fungible 61
15.2. Costos de desenvolupament 61
15.2.1. Llicències de software 61
15.2.2. Hores de desenvolupament del projecte 62
15.3. Pressupost final 62
16. IMPACTE MEDIAMBIENTAL 63
16.1. Directiva RoHS 63
16.2. Formula Student Electric 63
CONCLUSIONS 64
AGRAÏMENTS 66
BIBLIOGRAFIA 67
Referències bibliogràfiques 67
Bibliografia complementària 67
ANNEX 68
A. Plànols 68
B. Normativa FSAE 70

1. Glossari

En aquest apartat es procedirà a definir alguns conceptes d'importància clau per a l'explicació del treball de fi de grau que ens ocupa:

PCB: *Printed Circuit Board*. Placa de circuit imprès

CAN: *Controller Area Network.* Protocol de comunicació inventat per la companyia *Robert Bosch GmBH* per a la comunicació de xarxes industrials i d'automoció.

Dashboard: Quadre de comandaments del vehicle CAT08e, composat per una centraleta de control (MCU) i una de visualització (DU).

MCU: *Main Control Unit*. Centraleta de control del conjunt *Dashboard* que alberga el microcontrolador i el transceptor CAN.

DU: Display Unit. Centraleta de visualització del conjunt *Dashboard*.

dSPACE: Centraleta que s'utilitza com a *Main* ECU per al vehicle.

Top Layer: Capa superior de la PCB que s'utilitza en aquest projecte.

Bottom Layer: Capa inferior de la PCB que s'utilitza en aquest projecte.

5V: Acrònim que senyala qualsevol punt que es troba a un voltatge de cinc volts.

GND: De l'anglès *Ground,* indica la zona de terra o massa, punt de referència que es diu estar a zero volts.

Footprint: Empremta de la PCB on es situa un component electrònic.

Path: Pista conductora que comunica diversos components electrònics dins d'una PCB.

SMD: De l'anglès *Surface-Mounted Device*, tipus de dispositiu electrònic preparat per soldar directament sobre la superfície d'una PCB.

TH: De l'anglès *Through Hole* tipus de dispositiu electrònic fabricat de tal manera que s'ha d'introduir per uns forats a la PCB per tal d'ésser soldat.

PIC: *Peripheral Interface Controller.* Gamma de microcontroladors manufacturats per la empresa Microchip Technology Inc.

Pad: Superfície conductora de la PCB on es solda un component electrònic concret.

EMI: Interferències electromagnètiques. Pertorbació ocasionada en un circuit, component o conjunt electrònic produïda per radiacions electromagnètiques.

SOC: De l'anglès *State of Charge,* expressió per referir-se al nivell de càrrega de bateries elèctriques.

Tractive System: Sistema motriu d'un vehicle. En el cas que ens ocupa, el sistema motriu del monoplaça CAT08e.

BMS: De l'anglès *Battery Management System.*

IMD: De l'anglès *Insulation Monitoring Device.*

LVANDACC: Estat del programa principal que s'encarrega de mostrar els voltatges de High Voltage i Low Voltage.

MINVCELLS: Estat del programa principal que s'encarrega de mostrar el voltatge mínim de les cel·les i en quina s'hi troba.

MAXTCELLS: Estat del programa principal que s'encarrega de mostrar la temperatura màxima de les cel·les i en quina s'hi troba.

TEMPINV: Estat del programa que s'encarrega de mostrar la temperatura de l'inversos i el motor.

MODE: Estat del programa que s'encarrega de mostrar el mode de cursa en el que s'hi està.

EDICIOINI: Estat inicial d'edició del programa principal.

EDICIOL1: Estat de la primera línia d'edició del programa principal.

EDICIOL2: Estat de la segona línia d'edició del programa principal.

EDICIOL3: Estat de la tercera línia d'edició del programa principal.

BRAKEPLAU: Estat d'avis per *brake plausability.*

WSOCLV: Estat d'avís per baix *Low Voltage*.

WTMOT: Estat d'avís de temperatura del motor.

WTINV: Estat d'avís de temperatura de l'inversor.

FINV: Estat de fallada de l'inversor.

WOILTEMP: Estat d’avís per temperatura de l’oli de transmissió.

WSOCTS: Estat d’avís per baix voltatge de *High Voltage*.

FMAXTEMP: Estat de fallada per màxima temperatura.

FPLAU1: Estat de fallada per *Plausability* Device.

FMINVOLT: Estat de fallada per mínim voltatge de cel·les.

2. Índex de Figures

FIGURA 5.1: RENDER DEL CAT08E. FONT PRÒPIA. 15
FIGURA 6.1 RENDER DE LA DASHBOARD DEL CAT06E. FONT [1] 16
FIGURA 6.2 RENDER DE LA DASBOARD DEL CAT07E. FONT PRÒPIA. 17
FIGURA 6.3 IMATGES DE LES DASHBOARDS DELS EQUIPS AMZ (ZÜRICH) I REVOLVE (TRONDHEIM). FONT: MULTIMÈDIA D'INTERNET D'AMBDÓS EQUIPS. 18
FIGURA 7.1 VISTA PRELIMINAR DE LA SOLUCIÓ FINAL ADOPTADA. FONT PRÒPIA. 21
FIGURA 10.1 ESQUEMA DEL NOMBRE DE CONNEXIONS ENTRE PLAQUES. FONT PRÒPIA. 27
FIGURA 10.2 ESQUEMA ELÈCTRIC DEL MÒDUL D'ALIMENTACIÓ. FONT PRÒPIA. 29
FIGURA 10.3 DISSENY DEL MÒDUL D'ALIMENTACIÓ. FONT PRÒPIA. 29
FIGURA 10.4 DISSENY DEL MÒDUL DE CONTROL DIGITAL. FONT PRÒPIA. 30
FIGURA 10.5 ESQUEMA ELÈCTRIC I DISSENY DEL MÒDUL DE COMUNICACIÓ CAN. FONT PRÒPIA. 31
FIGURA 10.6 DISSENY FINAL DE LA PCB DE LA MCU I LA SEPARACIÓ DELS MÒDULS DE GND I 5V. FONT PRÒPIA. 32
FIGURA 10.7 DISSENY FINAL DE LA PCB DE LA DU. FONT PRÒPIA. 33
FIGURA 10.8 DISSENY DE LA PCB PEL SELECTOR DE MODES. FONT PRÒPIA. 35
FIGURA 10.9 ESQUEMA ELÈCTRIC DEL DIVISOR DE TENSIÓ DEL SELECTOR DE MODES. FONT PRÒPIA. 35
FIGURA 11.1 ARXIUS DEL PROGRAMA PRINCIPAL. FONT PRÒPIA. 42
FIGURA 11.2 ACCIONS BÀSIQUES DEL PROGRAMA PRINCIPAL. FONT PRÒPIA. 43
FIGURA 11.3 ESTRUCTURA ESQUEMÀTICA DEL PROGRAMA PRINCIPAL. FONT PRÒPIA. 44
FIGURA 11.4 FUNCIÓ SWITCH DEL PROGRAMA PRINCIPAL AMB TOTS ELS MODES. FONT PRÒPIA. 45
FIGURA 12.1 ESBÓS DELS ELEMENTS VISUALS DE LA DASHBOARD EN EL XASSÍS. FONT PRÒPIA. 47
FIGURA 12.2 DISPOSICIÓ DE LA CENTRALETA AMB EL CONJUNT DE LA DIRECCIÓ. FONT PRÒPIA. 48
FIGURA 12.3 RENDER DEL CONJUNT DIRECCIÓ-VOLANT-DASHBOARD. FONT PRÒPIA. 48
FIGURA 12.4 VISTA EXPLOSIONADA DE LA MCU. FONT PRÒPIA. 49
FIGURA 12.5 PROCÉS CONSTRUCTIU DE LA CENTRALETA DE CONTROL. FONT PRÒPIA 50
FIGURA 12.6 VISTA EXPLOSIONADA DE LA DU. FONT PRÒPIA. 51
FIGURA 12.7 PROCÉS CONSTRUCTIU DE LA CENTRALETA DE DISPLAY. FONT PRÒPIA. 51
FIGURA 13.1 INTERFÍCIE DEL PILOT EN EL MONOPLAÇA CAT08E. FONT PRÒPIA. 52
FIGURA 13.2 LEDS D'AVÍS, FALLADA I ESTAT DEL MONOPLAÇA. FONT PRÒPIA. 53
FIGURA 13.3 PANTALLES D'INFORMACIÓ DE LA DASHBOARD. FONT PRÒPIA. 54
FIGURA A.1 PLÀNOL DE LA CENTRALETA DE DISPLAY DEL MONOPLAÇA. FONT PRÒPIA. 68
FIGURA A.2 PLÀNOL DE LA CENTRALETA DE CONTROL DEL CONJUNT DASHBOARD. FONT PRÒPIA. 69
FIGURA B.3 NORMATIVA SOBRE LA MIDA DEL SHUTDOWN BUTTON ALLOTJAT AL COCKPIT DEL VEHICLE. 70
FIGURA B.4 NORMATIVA SOBRE EL PLAUSIBILITY CHECK I IMPLAUSIBILITY 70
FIGURA B.5 NORMATIVA REFERENT ALS LEDS DE BMS I IMD 70
FIGURA B.6 ESQUEMA DEL SAFETY CIRCUIT D'UN VEHICLE ELÈCTRIC DE FSAE 71

3. Índex de Taules

TAULA 10.1 ESPECIFICACIONS DEL MICROCONTROLADOR PIC 18F4580-I/PT. FONT [3]. 30
TAULA 10.2 XARXES DE CAN DEL MONOPLAÇA CAT08E. FONT PRÒPIA....31
TAULA 10.3 ESPECIFICACIONS DEL TRANSCEPTOR DE CAN MCP 2551. FONT [4]. 32
TAULA 10.4 ESPECIFICACIONS DE LA PANTALLA LCD WINSTAR WH1602B2-TMI-ET. FONT [5]. 34
TAULA 10.5 TAULA DE CONNECTORS LEMO USATS EN LA CONSTRUCCIÓ. FONT [6]. 36
TAULA 13.1 ESTATS D'ENGEGADA DEL MONOPLAÇA. FONT PRÒPIA. 53
TAULA 15.1 COSTOS DELS MATERIALS I COMPONENTS ELECTRÒNICS DEL PROJECTE. FONT PRÒPIA 60
TAULA 15.2 COSTOS DEL MATERIAL NO FUNGIBLE DEL PROJECTE. FONT PRÒPIA. 61
TAULA 15.3 COSTOS DE LES LLICÈNCIES DE SOFTWARE UTILITZADES EN EL PROJECTE 61
TAULA 15.4 COSTOS ASSOCIATS A LES HORES DE DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE. FONT PRÒPIA....62
TAULA 15.5 COSTOS TOTALS DEL PROJECTE. FONT PRÒPIA. 62

4. Prefaci

4.1. Origen del projecte

L'origen d'aquest projecte sorgeix en el marc de l'equip ETSEIB Motorsport Barcelona, format per estudiants de l'ETSEIB amb l'objectiu de dissenyar i construir un cotxe apte per a la Fórmula Student. Aquesta és una competició anual que reuneix equips de diverses universitats d'arreu del món i competeixen en diferents emplaçaments icònics de la fórmula 1, com ara Hockenheim o Montmeló. Aquesta competició es troba emparada per l'organisme SAE International (*Society of Automotive Engineers*) que es fundà l'any 1905 a Nova York, Estats Units. Tot i així, la FSAE (Fórmula Student) és una competició relativament jove, amb les primeres competicions fetes en la dècada dels setanta (1978).

És en aquestes competicions on l'equip ETSEIB Motorsport neix l'any 2007 i, des de llavors, dissenya i construeix un cotxe per any acadèmic. Per tant, és lògic pensar que cada any hi ha cabuda per a millores o diferents conceptes sobre els mateixos elements d'un cotxe de temporades passades. En la temporada que ens ocupa (2014-2015), ha tingut lloc el disseny i construcció del CAT08e, quart monoplaça elèctric amb el que s'intentarà consolidar el rodatge com a equip de competició d'alt nivell.

És així com en aquesta situació sorgeix la idea de redissenyar la centraleta d'interacció entre cotxe i pilot, la Dashboard, sempre tenint en compte els antecedents per tal de millorar tant el disseny mecànic com el hardware i el software. És també primordial aconseguir adaptar el disseny a la resta d'elements canviants del cotxe, que per aquesta temporada en són una gran part inclòs el xassís del vehicle.

4.2. Motivació

La capacitat de poder implementar un dispositiu electrònic ben bé des de zero és una molt bona oportunitat per poder posar en pràctica tots els coneixements adquirits al llarg de la carrera. A més a més, la idea de fer tota la centraleta suposa una gran motivació, ja que en sí mateix es tracta d'un projecte que engloba diferents àrees de coneixements i habilitats.

Tot en sí, es presenta com un projecte global, on cada membre de l'equip és responsable d'un dispositiu concret del cotxe. En aquest cas, implementar primer el disseny del hardware, dissenyar les PCBs del conjunt, implementar el software, ensamblar el conjunt... són tasques que no s'havien fet prèviament en la carrera i ajuden a complementar sobretot la branca d'enginyeria electrònica, una de les motivacions personals de l'autor de la memòria.

4.3. Requeriments previs

Una de les bases de l'equip ETSEIB Motorsport rau precisament en l'autoaprenentatge i la transmissió de coneixements d'un any per l'altre. D'aquesta manera, l'equip s'assegura que amb cada any que passa, el coneixement no es perd i el cotxe pot evolucionar.

Amb el programari utilitzat per implementar una centraleta electrònica, és d'esperar que no es tinguin coneixements previs de cap tipus, donat que tant el programa de disseny de PCBs com el de programació en codi C per al PIC són programes que no es fan servir habitualment en la carrera.

De totes maneres, la base per poder utilitzar aquest programari s'adquireix en el primer mes d'activitat dins de l'equip, quan els membres amb més experiència ensenyen als que no en tenen tanta.

5. Introducció

Com es diu en el títol del treball, es dissenyarà i es millorarà una ECU que tindrà la funció de Dashboard a dins del monoplaça. Aquesta centraleta s'implementarà la temporada 2014-2015 i en aquesta memòria es descriu la solució definitiva a la que s'ha arribat juntament amb els integrants de la secció.

El disseny de l'ECU, degut a la manca d'experiència dels integrants de la secció, s'ha hagut de supervisar per un professor que s'encarregava supervisar les tasques i revisar les possibles fallades de les centraletes i les possibles millores a fer respecte els dissenys primitius dels integrants de la secció, cosa que ha estat de gran ajuda.

5.1. Objectius del projecte

L'objectiu del projecte, és implementar una centraleta que, com s'ha comentat amb anterioritat, s'encarregui de gestionar gran part de la informació del cotxe i mostrar-la a través d'un dispositiu visual per tal de que tant el pilot com els membres de l'equip puguin modificar o adaptar-se a les diferents situacions que es plantegin, tant en carrera com en entrenaments. Aquest objectiu doncs, implica tot un seguit de tasques a fer a diferents nivells i camps d'actuació:

- Hardware: Disseny, construcció i validació d'una PCB. Aquest procés va lligat al disseny de l'esquema electrònic i la posterior elecció dels components a utilitzar en el conjunt de la centraleta.
- Software: Confecció d'un programa adaptat a la centraleta que permeti arribar a desenvolupar les tasques que es requereixin per a un dispositiu d'aquestes característiques.
- Disseny: Integració de les centraletes en el conjunt del monoplaça, estudi d'estètica i avaluació de la robustesa davant de situacions adverses.
- Planificació: Adaptació de les tasques anteriorment comentades dins d'un marc de vuit mesos de treball, tenint en compte la normativa aplicada per la organització FSAE.

5.2. Abast del projecte

Aquest projecte té cabuda únicament en el marc de la temporada 2014-2015 de l'equip de Fórmula Student de l'ETSEIB, i per tant, l'objectiu final d'aquest projecte és poder incorporar aquesta centraleta en el monoplaça CAT08e, que s'ensamblarà a principis de Juny de l'any 2015.

En aquest projecte doncs, donat el poc temps de que es disposa per dissenyar tant el hardware com el software d'una centraleta, s'intentarà aprofitar el màxim els coneixements de temporades passades per tal d'evolucionar i deixar a l'equip un dispositiu amb millors prestacions de cara a temporades vinents.

Figura 5.1: Render del CAT08e. Font pròpia.

6. Anàlisi d'antecedents i viabilitat

6.1. Anàlisi d'antecedents dins de l'ETSEIB Motorsport

Per fer un anàlisi dels antecedents que s'han produït dins l'equip de Fórmula Student de la universitat caldrà remuntar-se fins al cotxe de fa dues temporades; el CAT06e. Tot i que anys anteriors també s'havien portat centraletes d'interacció del cotxe amb el pilot, amb quadres de comandaments incorporats, no és fins al CAT06e on aquesta centraleta comença a agafar importància. Això és degut a que quan es passa de vehicle de combustió a vehicle elèctric (CAT05e), l'equip se'n adona de que és molt més fàcil alterar característiques del vehicle que tinguin a veure amb el comportament directe del cotxe en pista, ja que tot està comunicat amb una xarxa de CAN (inversors amb Main ECU i Main ECU amb la resta de centraletes). Així doncs, explicarem detalladament com s'ha arribat a voler dissenyar una millora de la centraleta per a aquesta temporada i quins han estat els motius.

6.1.1. CAT06e

Tal i com s'explica en el document [1] "*Disseny, construcció i validació d'un quadre de comandament",* per Josep Serrat i Orri, l'objectiu per a la temporada 2012-2013 era construir un quadre de comandaments per al CAT06e, i el resultat va ser el primer model de centraleta que no es refaria de nou, sinó que s'intentaria millorar. La solució adoptada en el monoplaça CAT06e constava d'una sola unitat de control que disposava d'un mòdul de visualització on es mostrava diversa informació d'interès per al pilot, així com diversos dispositius d'acció com ara botons i un selector de modes. Tot i així, el fet de tenir la centraleta "al descobert" com s'exposa en la Figura 6.1, va generar certs problemes de fiabilitat que, sens dubte, es varen intentar millorar la temporada següent.

Figura 6.1 Render de la Dashboard del CAT06e. Font [1]

6.1.2. CAT07e

Per al predecessor del model actual, es va seguir amb la idea de mantenir tot el conjunt en una sola centraleta disposat de la mateixa manera que en la temporada anterior, ja que no era possible un redisseny del conjunt de l'ECU donat que tampoc era possible un redisseny del monocasc de fibra de carboni (on s'allotja l'ECU). Per tant, es va decidir apostar per desenvolupar un software fiable intentant que fos molt entenedor i intuïtiu. Com a gran millora al software es va implementar un control de LEDs amb registres SPI que marcaven les revolucions per minut del motor i l'estat de càrrega de les bateries i, per últim però no menys important, un mode d'edició de paràmetres in situ, que permetia al pilot modificar amb certs botons, paràmetres de *performance* del vehicle com ara el marge de tensió, la rampa de l'inversor i la potència màxima aplicable.

Figura 6.2 Render de la Dasboard del CAT07e. Font pròpia.

Un altre cop, però, es varen trobar diversos problemes de fiabilitat en quant al disseny mecànic i és per això que com a prioritat aquest any s'ha volgut treballar a fons en optimitzar el hardware, fent un disseny robust i estanc.

6.2. Antecedents en la competició de Fórmula Student

Com s'ha dit anteriorment, la *Dashboard* del vehicle va començar a agafar importància quan es va començar a tenir més informació que era d'utilitat per al pilot, o simplement perquè es podia modificar i donar millor rendiment al vehicle. Això no només ha passat en l'equip de Fórmula Student de l'ETSEIB, sinó que ha estat una tendència general en els equip de Fórmula Student més punters d'arreu del món; alguns implementant dissenys propis d'escuderies de competició professionals.

A més a més, la tendència d'aquests equips també ha estat la de fer els monoplaces com més robustos millor, resistents tant a cops que puguin patir com a les diverses adversitats meteorològiques. Com es mostra en la Figura 6.3, els dissenys intenten integrar-se completament amb el xassís, amb un factor de robustesa i estanqueïtat bastant elevat, per donar la seguretat tant al pilot com a l'equip de que aquest no ha de ser un punt feble del vehicle.

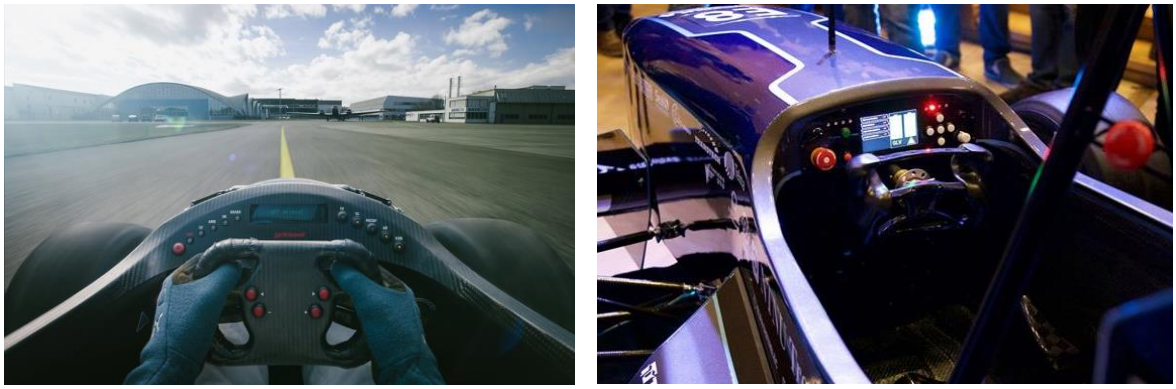

Figura 6.3 Imatges de les Dashboards dels equips AMZ (Zürich) i Revolve (Trondheim). Font: Multimèdia d'internet d'ambdós equips.

6.3. Viabilitat del projecte

6.3.1. Viabilitat tècnica

Des d'un punt de vista tècnic, la implementació d'una centraleta que es dediqui a mostrar certa informació per la pantalla no suposaria cap problema de viabilitat. N'és una prova l'èxit amb el que es porta fent en les temporades anteriors. Tot i que el hardware es vulgui modificar per tal de poder integrar el conjunt dins del xassís del vehicle, els components electrònics utilitzats (que en són la base) són pràcticament els mateixos.

Per altra banda, relatiu al software, s'ha tingut en ment aprofitar en gran part la estructura del programa principal del conjunt ja que electrònicament no va mostrar cap fallada. De totes maneres, sí que es cert que caldrà un cert treball d'adaptació d'aquest software per poder treballar amb la nova ECU en plena totalitat de les seves funcions. S'intentarà fer un programa més clar i intuïtiu per una comprensió més ràpida d'aquest. Aquesta és potser la part amb més dificultat per a l'autor de la memòria, però tot i així, biblioteques implementades per la companyia Microchip han estat de gran ajuda per confeccionar el codi.

6.3.2. Viabilitat econòmica

La viabilitat econòmica del projecte no suposarà un problema sota cap circumstància. L'equip de Fórmula Student esmentat amb anterioritat es nodreix d'una extensa xarxa d'empreses que normalment faciliten els seus productes i tecnologia per tal d'aconseguir un monoplaça amb majors prestacions.

En el cas de la secció d'electrònica, s'ha tingut la sort de poder comptar amb un sponsor per a cadascuna de les tasques principals de les que s'ocupa la secció. Es compten sponsors tant per a la manufactura de les PCBs, com per al cablejat del cotxe, passant pels connectors d'altes prestacions i els components electrònics més bàsics. En el cas particular de l'ECU tractada en aquesta memòria, la manufactura de les dues PCBs i els connector d'altes prestacions serien els components més cars.

Tot i així, al tractar-se d'un prototip els preus no són els mateixos que si es fabriqués en sèrie. Per poder comptabilitzar el cost del projecte si es fes en sèrie caldria tenir en compte tot un seguit de paràmetres que queden fora de l'abast d'aquest projecte. Per tant, està de més esmentar-ho. D'altra banda sí que es podria dir que el preu aproximat de la centraleta rondaria els 800€, ja que les dos PCBs costen aproximadament 400€ i entre els connectors, components electrònics, caixes, cables i talls làser, el total pot ascendir sense problemes fins a 400€.

6.3.3. Viabilitat ambiental

Pel que fa a la viabilitat ambiental, destacar que com en aquest cas només es fabrica un prototip, la repercussió que pugui tenir aquest projecte a nivell ambiental és pràcticament irrisòria. De totes maneres, la fabricació de les PCBs s'ha efectuat seguint la directiva 2002/95/CE [2], altrament coneguda com a directiva RoHS (de l'anglès *Restriction of Hazardous Substances*), que restringeix la utilització de les 6 substàncies següents; Plom, Mercuri, Cadmi, Crom IV, PBB (Polifromobifenils) i PBDE (Polibromodifenil-èters).

A més a més, gran part dels components electrònics utilitzats en el projecte són reciclables, així que l'impacte ambiental d'aquest projecte no és un fet significatiu que hagi marcat el pla d'actuació.

7. Especificacions

Tal i com s'ha explicat en l'apartat 6.1.2 d'aquesta memòria, el prototip de centraleta del qual s'ha partit a l'hora de construir el nou tenia punts forts, però també alguns punts febles. Es parteix d'un model que a nivell de software ha presentat molta fiabilitat, però a nivell de hardware ha fallat en aspectes clau per al funcionament de la centraleta. El conjunt no acabava de ser del tot estanc i el fet de no integrar-se en el xassís i emportar-se cops dels pilots va debilitar la estructura i va malmetre algunes parts importants del conjunt.

És per aquest motiu que aquesta temporada es va decidir enfocar les millores sobretot en el hardware, tot i que no es deixa de vista el refinament del software. A gras trets les característiques a millorar s'exposen a continuació.

- Augment de la estanqueïtat del conjunt: L'aigua no hauria de ser un problema en aquesta centraleta, donat que poc o molt, sempre hi hauran parts al descobert. Aquesta centraleta s'hauria de poder mullar sense problemes.

- Augment de la robustesa: Donat l'espai reduït de que es disposa a dins del vehicle, la *Dashboard* s'emporta cops a l'hora d'entrar i sortir del vehicle. Per aquesta temporada s'ha proposat, com a repte, que aquests cops no afectin al funcionament del conjunt.

- Millora en el muntatge del conjunt: La temporada passada es va poder comprovar que tal i com s'havia dissenyat la *Dashboard*, muntar-la i desmuntar-la en el vehicle passava de ser una tasca rutinària a ser una tasca bastant complicada. És per això que aquest any també es tindrà fortament en compte el fet de facilitar aquesta tasca a tots els membres de l'equip que en un moment donat, ho hagin de fer.

- Refinament del software: Polir el programa i adaptar-lo al nou conjunt per tal de fer un projecte complet. Cap millora de les esmentades serviria si no hi ha el software donant el suport adient.

Tenint en compte aquests punts es pot procedir a explicar la solució final adoptada per la secció d'electrònica de l'ETSEIB Motorsport.

7.1. Característiques generals i proposta d'arquitectura

La solució final del conjunt *Dashboard* s'exposa a continuació. El canvi més gran i la aposta més arriscada d'aquesta temporada consisteix en dividir la centraleta en dos parts: una centraleta més petita que serveixi per albergar totes les estructures de control i programació, i una altra que serveixi per albergar a major part del hardware de visualització i acció del pilot.

La primera va instal·lada en la paret superior interior del monocasc, en un dels punts de més difícil accés per a l'aigua i la segona, va instal·lada darrera d'un panell de fibra de carboni, que és part del xassís (com es veurà més endavant en el punt 12.1) i en el qual s'hi faran els forats convenients per poder veure els elements de dins de la capsa.

La tapa d'aquesta segona és de metacrilat, per tal de poder veure els elements de l'interior. D'aquesta manera s'evita un fet recurrent en temporades anteriors com era deixar a l'aire lliure elements com ara la pantalla o alguns LEDs, mirant així fer el més estanc possible tot el conjunt.

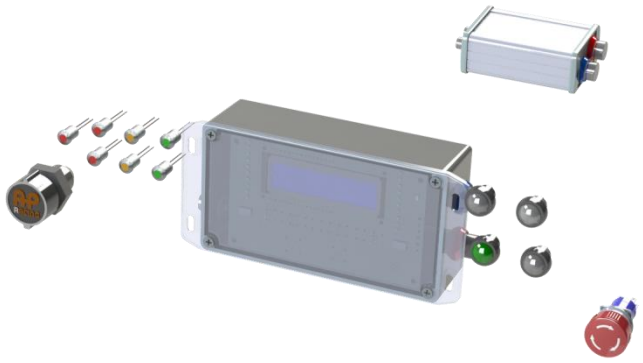

Figura 7.1 Vista preliminar de la solució final adoptada. Font pròpia.

D'aquesta manera s'aconsegueixen dues coses: En primer lloc, separar la centraleta en dos ens donarà la possibilitat de dividir els elements de control dels de hardware visual. D'aquesta manera, podem col·locar la capsa que conté el microcontrolador una mica més endinsada en el xassís i que quedi més a resguard de la pluja i els cops. A més, un cop instal·lada l'únic que s'haurà de fer en cas de voler reprogramar el conjunt és connectar-la directament a l'ordinador sense necessitat de desmuntar-la.

En segon lloc, empaquetant tot el hardware visual (pantalla LCD, LEDs...) en una sola caixa, s'aconsegueix que en el panell del xassís destinat a aquests elements hi hagi menys pes i per tant l'estructura del xassís no pateixi tant. A més a més, al tractar-se d'un mòdul més

petit i de menys pes, és més fàcil de muntar donat que són necessaris un molt menor nombre de cargols.

Cal destacar també que el fet de integrar aquesta caixa en el panell del xassís dóna una robustesa extra al conjunt ja que no hi haurà cap part de la centraleta que pugui sofrir cops d'algun pilot.

Com a característica final, cal dir que el fet de tenir una capsa endinsada en el xassís i una altra darrera del panell del monocasc ens dona la possibilitat de tancar completament les capses i fer-les del tot estanques, ja que l'aigua és el problema més important que es va tenir en temporades passades.

Com s'explica en el següent apartat, una part molt important a l'hora de dissenyar tant el hardware com el software són les necessitats dels pilot que acabin conduint el vehicle.

7.2. Necessitats del pilot

Els punt més importants a tractar en les necessitats del pilot són sens dubte la ergonomia del conjunt i la correcta transmissió d'informació de totes les dades que siguin d'interès.

Així doncs es poden diferenciar dos aspectes sobre els que s'ha parlat amb els pilots tant de temporades passades com de l'actual: Ergonomia i Informació a mostrar. S'atacaran els dos temes per separat.

7.2.1. Ergonomia

Havent parlat amb pilots s'ha arribat a les següents mesures pel que fa a ergonomia:

- La pantalla ha de ser visible en qualsevol tipus de condicions meteorològiques. Per tant la pantalla estarà una mica enfonsada (3 mm) per a que el forat el xassís faci de para-sol. A més es fabricarà una visera de fibra de carboni per a les situacions de més sol.

- Els botons imprescindibles han de ser de fàcil accés. És per això que aquesta temporada el botó del DRS (*Drag Reduction System*) i un botó per anar passant les pantalles amb la informació es posaran directament al volant permetent així que el pilot no hagi d'aixecar les mans en plena cursa.

- La Dashboard ha d'acaparar una mínima atenció pel que fa a la cursa. El pilot ha d'estar atent a la pista i en cas de voler informació, l'ha d'extreure ràpidament i

de manera molt intuïtiva. Per aquesta raó es disposen de pocs elements al panell i de funcionament molt senzill.

7.2.2. Informació a mostrar

Havent dit en el punt anterior que la informació a mostrar ha de ser intuïtiva i fàcil d'entendre, s'ha decidit agafar una pantalla de 2x16 caràcters (veure especificacions en la Taula 10.4) per mostrar poca informació de cop, entre d'altres motius. D'aquesta manera el pilot pot veure amb un cop d'ull la informació que li interessa o passar de pantalla amb el botó del volant si li interessa una altra informació en particular.

La informació que s'ha decidit mostrar aquest any per pantalla és la següent:

- Voltatge del bus de *High Voltage* i *Low Voltage*: Per saber si el voltatge que arriba al *Tractive System* és l'adequat, així com el voltatge del circuit de *Low Voltage*.

- Voltatge mínim de les cel·les de bateries i el nombre de cel·la en el qual es dóna; permet al pilot gestionar de manera eficient la energia elèctrica del vehicle.

- Temperatura màxima de les cel·les i en quina cel·la es dóna. Les cel·les han de poder aguantar fins a un màxim de temperatura establert per la competició, així que és molt important saber si en ritme de cursa s'arriba o es sobrepassa aquest límit, per actuar en conseqüència.

- Temperatura del motor i temperatura de l'inversor. Aquests components són extremadament importants per al vehicle i són de molt difícil reparació en cas d'averia. És important saber que la temperatura d'aquests components és sempre l'adequada.

- DRS On/Off: Quan s'activa i es desactiva el DRS. És bastant important saber quan el DRS està activat, ja que és convenient activar-lo només a les parts rectes del circuit.

8. Planificació

En tot projecte hi ha d'haver present un pla d'actuació en funció del temps de que es disposa per efectuar les tasques encomanades. En el cas de l'autor d'aquesta memòria, cal dir que el projecte es desenvolupa dins de la franja temporal que ocupa una temporada a l'equip ETSEIB Motorsport.

En el projecte global es marquen un seguit de dates a tenir en compte en les que els membres hauran d'haver assolit uns objectius concrets. Així doncs, la temporada es divideix en tres etapes diferents:

Disseny

Primera etapa del projecte on els membres de l'equip s'encarreguen de dur a terme el disseny de tot el que es necessiti per implementar el conjunt que se'ls hi ha assignat. En el cas d'aquest projecte, es tracta de dissenyar el hardware del conjunt *Dashboard*, amb tots els seus components respectius, i encabir el hardware dins d'un espai en el xassís, integrant al màxim tots els elements. Al final d'aquesta etapa cada membre de l'equip disposa del seu subensamblatge en CAD per tal de poder implementar un model 3D del monoplaça que es construirà.

Aprovisionament de material, muntatge i validació

Segona etapa del projecte on es tracta d'aconseguir tots els components i material necessaris per construir el que s'ha dissenyat prèviament. Un cop reunit el material, els construeix el conjunt i es fan les primeres validacions. En el cas d'aquest projecte, en aquesta etapa també es desenvolupa el software que s'implementarà en la centraleta.

Ensamblatge

Muntatge del conjunt prèviament validat dins del cotxe i validació del seu funcionament amb els altres elements del cotxe. Període de proves en pista per tal de treure conclusions sobre el funcionament d'alguns elements i preparació per a les competicions de l'estiu.

9. Programari

Per dur a terme tant el disseny com la posterior programació de la centraleta esmentada, s'ha hagut de fer ús d'un programari específic que ens ha ajudat a assolir l'objectiu de disseny físic de les PCBs, i disseny del codi principal del programa de la centraleta. Aquests programes es comenten tot seguit.

9.1.1. SOLIDWORKS

Programa de disseny CAD en tres dimensions que serveix per fer un disseny detallat físic del conjunt abans de tenir cap material. D'aquesta manera s'aconsegueix tenir una primera idea de les dimensions del conjunt que s'està projectant, així com altres característiques importants (pes, estètica...).

9.1.2. ALTIUM

Altium Designer 13 és un programa de disseny de PCBs. El programa dóna a l'usuari la capacitat de confeccionar un disseny esquemàtic d'un conjunt electrònic i, posteriorment, la opció de dissenyar una PCB per ordinador que compleixi les característiques fixades en els esquemàtics. Al tractar-se d'un programa més o menys intuïtiu, permet a usuaris que tot just s'inicien en el món de l'electrònica (com podrien ser els membres de l'equip de fórmula Student de l'ETSEIB) poder arribar a fer dissenys de PCBs de varies capes bastant atrevits. Més endavant, a mesura que es vagi explicant el disseny de hardware de l'ECU, s'explicaran característiques del programa que han ajudat a un disseny més fàcil de les PCBs.

9.1.3. PROTEUS

El Proteus Suite Design és un programa de caire simulador, que en el nostre entorn ens ha permès fer proves senzilles de diversos components que s'anaven a utilitzar abans de tenir-los físicament. Aquest programa permet la incorporació d'elements virtuals que representen components electrònics reals. D'aquesta manera, es poden construir circuits electrònics i testejar-los ràpidament per veure si el que s'havia ideat estava ben concebut o si per el contrari, hi havia errors i cal corregir el disseny. Cal comentar que el proteus només s'ha fet servir puntualment com a programa de suport quan mancaven algunes peces amb les que calia fer proves.

9.1.4. MPLAB IDE

Aquesta eina de treball és imprescindible per a la secció d'electrònica. El MPLAB IDE v8.63 és un programa de la empresa Microchip Technology, que té com a funció permetre a l'usuari poder escriure, compilar i programar línies de codi per tal d'implementar-les en un microcontrolador de la marca. Com en el nostre cas el microcontrolador utilitzat és el PIC18F4850, aquest programa era adient. No cal dir que més endavant s'explicarà de forma detallada com s'ha fet servir el programa en el disseny del software de la centraleta.

Un cop feta aquesta petita introducció sobre el programari utilitzat, es procedirà a comentar amb detall la solució final de disseny adoptada tant per un mateix com per la secció d'electrònica de l'equip de Fórmula Student. Tal com s'ha comentat amb anterioritat, la línia a seguir per la secció d'electrònica de l'equip ha passat per assegurar una bona estanqueïtat del conjunt de les ECUs i, en el nostre cas en particular, també integrar els elements d'acció en el panell del monocasc. Tot plegat fa imprescindible que en la fase de disseny de la solució final, s'hagi hagut de portar paral·lelament el disseny mecànic i el disseny de hardware de les PCBs.

10. Disseny de hardware

El disseny definitiu de software de la Dashboard consta de dues PCBs principals i una d'auxiliar que suporta un interruptor rotatori de 12 posicions. A la primera ens hi referirem a partir d'ara com a MCU (Main Control Unit), i a la segona com a DU (Display Unit). L'auxiliar serà a partir d'ara la PCB del selector de modes. Com s'ha comentat anteriorment, la secció d'electrònica va arribar a la conclusió de que una bona solució per tal de mantenir el màxim nombre de components a resguard de l'aigua era separar el que amb anterioritat havia sigut tot un conjunt en dos parts.

En contret, la MCU s'encarrega de rebre els senyals provinents de la Main ECU (Alimentació i CAN), processar-los adequadament i transmetre les dades necessàries cap a la DU, que serà el conjunt que finalment veurà el pilot.

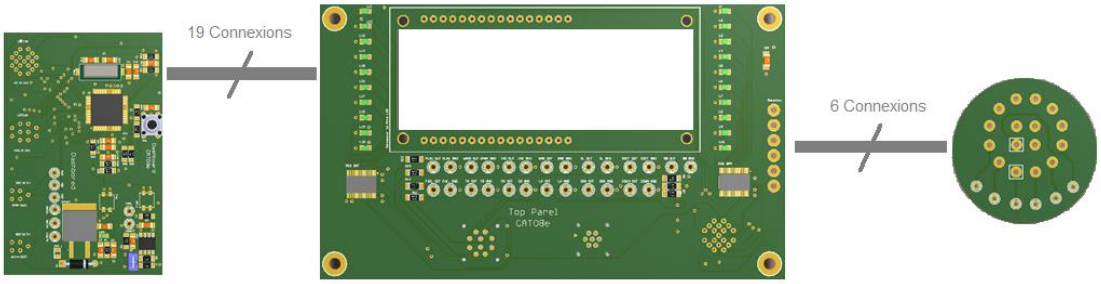

Figura 10.1 Esquema del nombre de connexions entre plaques. Font pròpia.

Amb aquest sistema no només s'aconsegueix mantenir components vitals per al funcionament de la centraleta a resguard de l'aigua, sinó que es disposa d'un mètode que permet extreure el mòdul programable de l'ECU sense haver de treure el panell del pilot i el quadre de comandaments del vehicle, cosa que fa molt més fàcil la tasca de reprogramació del conjunt. A més a més, el fet de no treure el quadre de comandaments cada cop que es reprogrami la centraleta no exposa al conjunt a amenaces innecessàries com ara la fatiga dels cargols o de la fibra de carboni. Ens assegurem de que un cop muntat el quadre de comandaments, no s'haurà de treure i serà una font menys de problemes.

Ara es procedirà a explicar amb detall cadascuna de les PCBs integrants de l'ECU.

10.1. Main Control Unit

La MCU és una PCB de 4 capes i té unes dimensions de 75,3x49,4 mm. Aquesta centraleta s'encarrega de processar tots els senyals que arriben de dSPACE en forma de missatge CAN i distribuir-los als diferents elements de la DU. Les quatre capes es divideixen en una Top Layer i una Bottom Layer (capa superior i inferior), que són les que contenen la totalitat dels footprints i els paths de la PCB, i després les dos capes intermèdies que són la de voltatge a 5V i la de terra (Ground o GND). Cada capa està aïllada de la següent, amb el que assegurem que no hi hagi cap mena de confusió entre els diversos senyals que es processen.

El que s'aconsegueix amb una estructura de quatre capes a la PCB és purament simplificar el disseny de la placa, ja que tots els punts d'un mateix mòdul que vagi a 5V o a GND poden anar-hi directament amb una via, el que ens estalvia espai i complicacions en buscar el path correcte. Amb aquesta manera de fer, estalviem tant temps de disseny com espai, que és l'objectiu que sempre es té en ment. Una PCB més petita implica menys pes i, per tant, un cotxe més competitiu.

La MCU consta de tres mòduls que explicarem a continuació. Aquests tres mòduls, tot i trobar-se en la mateixa PCB, s'han separat. Això s'ha fet com a mesura preventiva, per tal d'evitar fallades generals per culpa d'un sol component. També s'ha tingut en compte la fase de soldadura de components, ja que soldant els mòduls independentment, es feien les proves necessàries per cada mòdul després d'haver-se soldat i es descartaven, d'aquesta manera, errors en focus més petits. En definitiva, la separació en mòduls dels elements de la PCB es fa per donar una estructura més lògica i per assegurar una millor detecció de possibles fonts d'error. Els mòduls s'expliquen tot seguit.

10.1.1. Mòdul d'alimentació

Aquest és el mòdul responsable de que la placa rebi correctament els 5V als que s'alimenta el PIC. La Main ECU proporciona directament tensions de 12V, per el que el mòdul d'alimentació s'ha d'encarregar de transformar aquests 12V a 5V. Per fer-ho, s'ha implementat un circuit com el que es mostra a continuació, que és el que tenen totes les plaques de l'equip que funcionen a 5V.

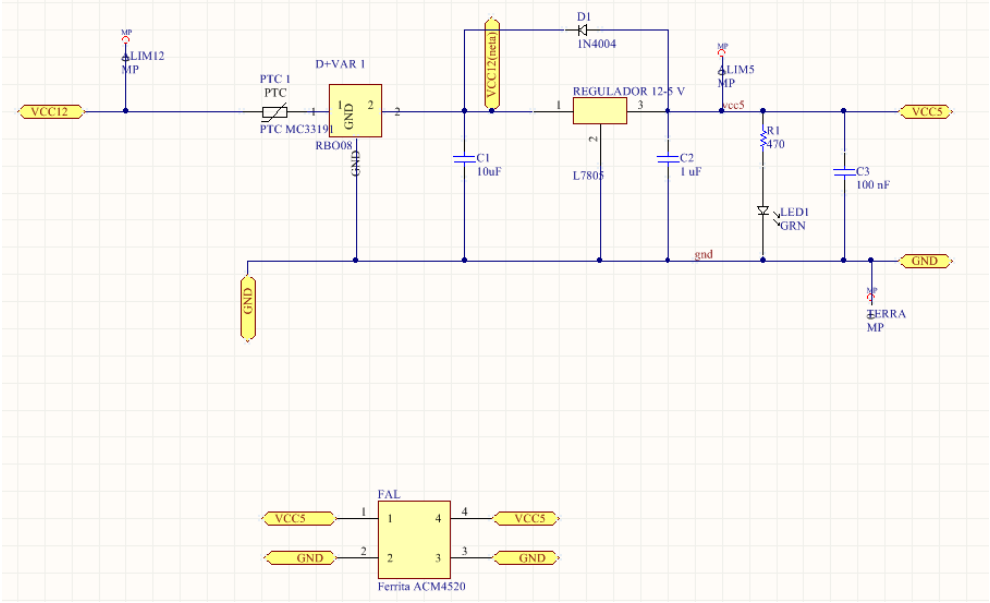

Figura 10.2 Esquema elèctric del mòdul d'alimentació. Font pròpia.

Com es pot observar en la Figura 10.2, la tensió de 12 Volts es fa passar a través d'una PTC i un díode mes un varistor, aconseguint crear mesures de protecció contra pics de tensió que es puguin produir i augments sobtats de la temperatura que puguin malmetre components sensibles de la PCB. Un cop "netejada" el senyal de 12 Volts, instal·lem un regulador de 12V a 5V i un LED (en aquest cas de color verd) que s'il·luminarà quan hi arribin 5V. És una manera molt ràpida de veure si el circuit està ben alimentat. Finalment, s'instal·la una ferrita per tal de filtrar el senyal de 5V abans de passar al mòdul de processament digital.

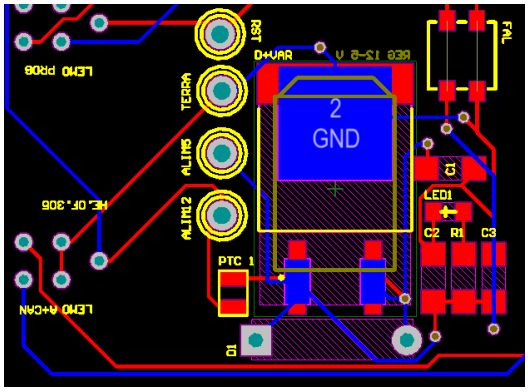

Figura 10.3 Disseny del mòdul d'alimentació. Font pròpia.

10.1.2. Mòdul de processament digital

Aquest mòdul és el que s'encarrega, com bé diu el seu nom, de processar els senyals digitals de l'ECU. L'element més característic és el microcontrolador (PIC18F4850 de Microchip). L'elecció d'aquest microcontrolador s'ha fet en base a l'experiència d'anys anteriors. No és necessari, en el nostre cas, que el processador sigui molt potent, però si que disposi de CAN (veure Taula 10.1). S'hi ha instal·lat un cristall extern per tal de millorar la velocitat (en el nostre cas és un cristall de 20MHz). Com a mesura de seguretat, aquesta zona també esta aïllada del mòdul de comunicació CAN que expliquem a continuació.

PIC 18F4580-I/PT	
ESPECIFICACIONS	VALOR
V_{IN}	2 - 5,5V
Encapsulat	44 pin TQFP
Digital I/O	21
Analog Inputs	10
High priority interrupts	
Freqüència màxima	40MHz
CAN	1Mbit/s
	CAN 2.0

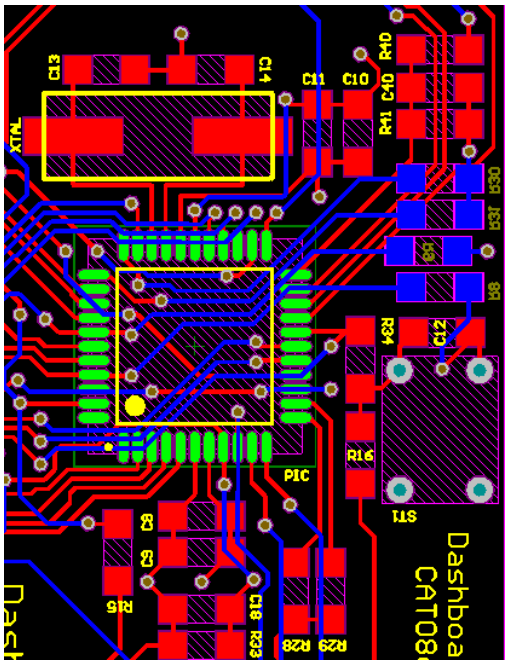

Figura 10.4 Disseny del mòdul de control digital. Font pròpia.

Taula 10.1 Especificacions del microcontrolador PIC 18F4580-I/PT. Font [3].

10.1.3. Mòdul de comunicació

El mòdul de comunicació és la part de la PCB encarregada d'enviar i rebre la informació que es gestiona en l'ECU. En el nostre cas en particular, el protocol de comunicació és el CAN. Aquest mòdul incorpora un transceptor CAN (CAN transceiver en anglès) que és el dispositiu que s'encarrega tant d'enviar com de rebre els senyals provinents tant de la MCU com de les ECUS exteriors del cotxe. Els anys anteriors s'havia portat una velocitat de CAN de 250kbit/s, però donades les especificacions d'una de les altres centraletes del cotxe, aquest anys s'ha hagut de pujar la velocitat del CAN fins a 1Mbit/s. Això no ha suposat cap problema, ja que el transceiver amb el que es treballava normalment accepta fins a la velocitat màxima del CAN, que és justament 1Mbit/s, ja que la nostra xarxa de CAN no superarà els 40 metres de cable.

De totes maneres, sempre és arriscat pujar la velocitat de la xarxa, donat que a més velocitat, hi poden haver més problemes de comunicació entre les diverses centraletes. Donat que la Main ECU (dSPACE) alberga 4 xarxes independents de comunicació CAN i en el monoplaça hi van més de quatre elements que necessitin d'aquest protocol de comunicació, la xarxa CAN que utilitza l'ECU objecte d'aquesta memòria és compartida amb la front ECU (centraleta encarregada d'adquirir tots els senyals provinents dels sensors davanters) i la Data Acquisition (centraleta encarregada d'adquirir dades i d'enviar-les per a través d'un mòdul WiFi a l'exterior del vehicle).

Xarxa CAN	Elements de la xarxa
1	Inversors
2	BMS
3	Front ECU, Data Acquisition, Dashboard
4	Rear ECU

Taula 10.2 Xarxes de CAN del monoplaça CAT08e. Font pròpia.

A continuació es mostra l'esquema elèctric del mòdul de comunicació CAN amb el layout adoptat en la solució final i les especificacions del transceptor utilitzat.

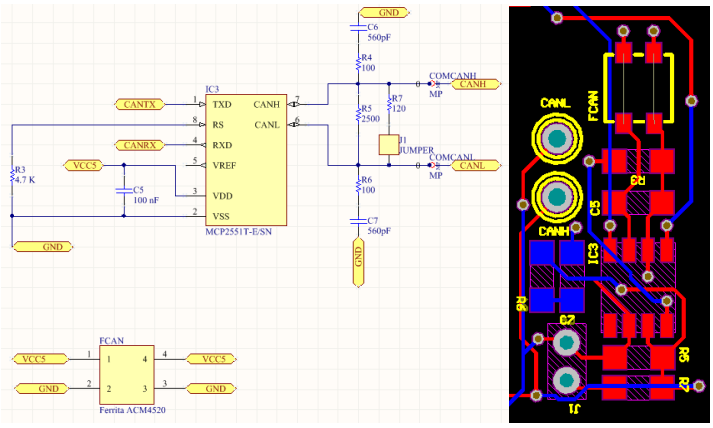

Figura 10.5 Esquema elèctric i disseny del mòdul de comunicació CAN. Font pròpia.

TI MCP 2551	
V_{IN}	4,5-5,5V
I_{IN}	10mA
Encapsulat	SOIC 8
Maximum Baudrate	1Mbit/s
Temperatura de treball	-40ºC a 85ºC
Protecció contra curtcircuits	

Taula 10.3 Especificacions del transceptor de CAN MCP 2551. Font [4].

10.1.4. Separació dels mòduls

Com es pot veure en la Figura 10.6, els plans de 5V i GND dels diferents mòduls estan aïllats els uns dels altres conferint així una separació entre les diferents funcions a realitzar de la PCB. D'aquesta manera, aconseguim reduir l'àrea de cerca quan es produeixen errors soldant o simplement quan es testeja la PCB després d'haver-se soldat.

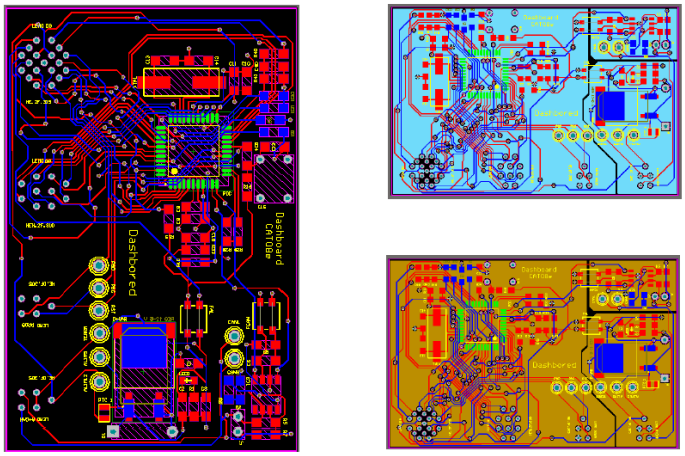

Figura 10.6 Disseny final de la PCB de la MCU i la separació dels mòduls de GND i 5V. Font pròpia.

Finalment destacar els connectors. Aquest és un punt que guanya importància donat que al tenir dues PCB separades cal una xarxa que s'encarregui de transmetre la informació necessària d'una banda a l'altra. En el cas d'aquesta PCB es disposa d'un connector pensat per rebre alimentació a 12V i el CAN, un altre per poder programar el dispositiu sense treure'l de la caixa i dos més que són els encarregats de comunicar-se amb la DU.

10.2. Display Unit

Si la MCU era el “cervell” de l’ECU, la Display Unit n’és la cara. Aquesta PCB està concebuda per col·locar elements de visualització com ara les barres de LEDS dels registres o la pantalla LCD a un mateix nivell, per tal d’apropar-la el màxim al panell del monocasc. També disposa de sortides per als diferents botons que van tant al volant com al panell del monocasc, els LEDS d’avís i fallada i el selector de modes de cursa. A continuació es mostra una figura general de la solució final adoptada per l’equip.

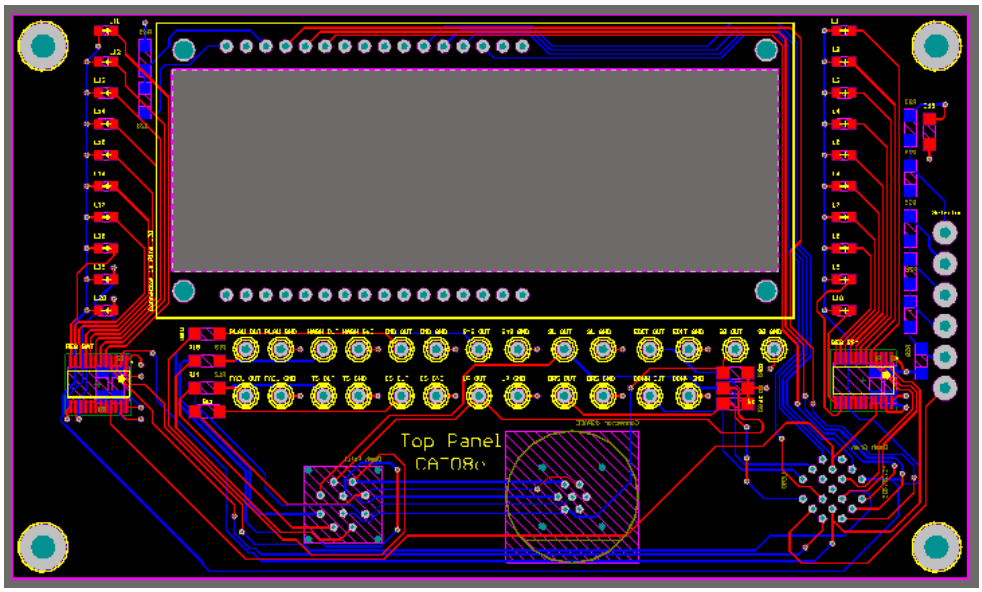

Figura 10.7 Disseny final de la PCB de la DU. Font pròpia.

Aquesta és una PCB també de 4 capes i té unes dimensions de 122,9x72,4 mm. Aquesta s’ha fet de 4 capes per les mateixes raons que l’anterior. Cal recalcar que en aquest cas l’espai era una restricció molt important a tenir en compte ja que les dimensions tant de la PCB com de la caixa que conté aquesta venien delimitades pel suport de la direcció del vehicle.

Com es pot observar, la PCB disposa d’un rectangle buit, per on s’introdueix la LCD, i tot un seguit de pads que és d’on surten els cables que comuniquen els diferents LEDS i botons que es necessiten a l’hora de fer funcionar l’ECU.

En quant a la LCD, s’ha triat el model que s’exposa a continuació per les característiques de mida, voltatge de funcionament i controlador que utilitza.

WINSTAR WH1602B2-TMI-ET	
Voltatge de treball	5V
Voltatge de contrast	0,5V
Controlador	HD44780
Dimensions	80x36x10mm
Nº de pins	16
Nº de caràcters	2x16

Taula 10.4 Especificacions de la pantalla LCD Winstar WH1602B2-TMI-ET. Font [5].

Al tractar-se de l'ECU més propera al monocasc i, per tant, a tots els elements incrustats en el xassís del vehicle, aquesta PCB disposa de totes les sortides disponibles per als elements disposats en el panell del monocasc. Així doncs, aquesta PCB disposa de sortides tant per als botons, com els LEDs de normativa, avís i fallada, i el selector de modes de cursa.

Aprofitant també que aquesta centraleta es troba més a prop de dSPACE que la MCU, s'hi ha disposat un connector que porta els senyals principals de la centraleta com són els LEDs de BMS, IMD, Control System i Tractive System, i el botó d'engegada del vehicle. Cal destacar també que les barres de LEDs que controlen els registres són de muntatge SMD i estan directament instal·lades en la PCB que s'ha comentat prèviament.

10.3. PCB Selector de modes

Aquesta PCB serveix únicament de suport per al selector de modes (un interruptor rotatori de 12 posicions) i es tracta d'una rodona de 42,291mm de diàmetre. El mètode de fabricació d'aquesta PCB és diferent al de les dues anteriorment comentades. Aquesta consta d'un volum de fibra de vidre sobre el qual s'hi adhereix una capa de coure conductor que després es mecanitza per tal d'obtenir el layout del circuit desitjat. En el nostre cas, només s'implementaran cinc modes de cursa diferents, així que com es pot observar en la Figura 10.8 només es disposen cinc pistes de posició, juntament amb la pista del pol.

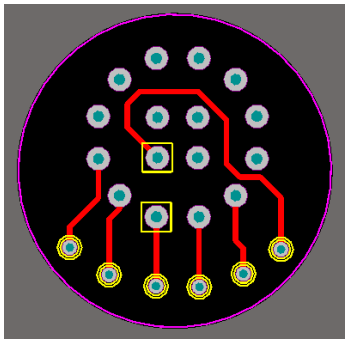

Figura 10.8 Disseny de la PCB pel selector de modes. Font pròpia.

Això és degut a que el funcionament del selector de modes és analògic. S'ha implementat un divisor de tensió que ens dóna cinc valors de tensió diferents, per el que nosaltres podrem aplicar cadascun d'aquests valors a un mode de cursa a l'hora de programar. Es pot observar l'esquema elèctric del divisor de tensions a continuació. Cal dir que les resistències s'han agafat totes del mateix valor per a que en cada cas el valor de la caiguda de tensió sigui el mateix.

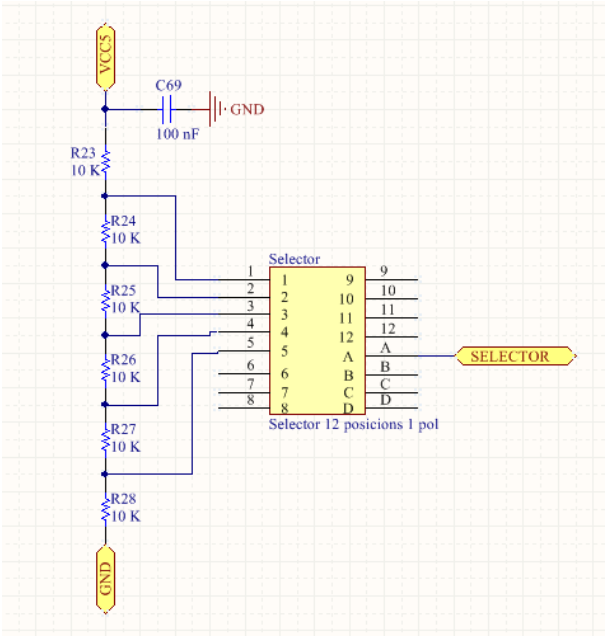

Figura 10.9 Esquema elèctric del divisor de tensió del selector de modes. Font pròpia.

10.4. Connectors

Una part molt important del disseny del hardware són els connectors. Aquests elements són els encarregats de donar robustesa al conjunt i d'habilitar una manera senzilla tant d'alimentar les PBC com de programar-les. Així doncs, en el nostre cas es necessiten connectors robustos que ofereixin seguretat però al mateix temps que siguin fàcils de connectar i desconnectar, ja que s'ha pensat que el conjunt s'hauria de treure i posar amb facilitat i cert nombre de vegades.

La opció triada tant per l'autor d'aquesta memòria com per la secció d'electrònica és utilitzar connectors d'automoció de la marca LEMO. Aquests connectors s'exposen a continuació en la taula següent.

Connector	Referència	Nº Pins	Mascle/Femella	Quantitat
Programació	EHP.0F.305	5	Femella	1
Alimentació	EHN.0F.305	5	Femella	1
Connexions dSPACE	EHN.1F.307	7	Femella	1
Connexions MCU/DU	EHN.1F.310	10	Femella	2
Connexions MCU/DU	EHN.2F.319	19	Femella	2
Connexions MCU/DU	FGN.1F.210	10	Mascle	2
Connexions MCU/DU	FGN.2F.319	19	Mascle	2

Taula 10.5 Taula de connectors LEMO usats en la construcció. Font [6].

11. Disseny del software

El software es defineix com el suport lògic de diversos components lògics que fa capaç a un conjunt electrònic efectuar tasques especifiques, prèviament programades en la memòria d'aquests components lògics. En el nostre cas, l'element programable del nostre conjunt electrònic és el microcontrolador.

El software implementat en el programa del conjunt Dashboard ha estat dissenyat usant el llenguatge C, compilat amb el compilador de C18 de Microchip, compatible amb l'entorn de desenvolupament MPLAB IDE. Gràcies a aquesta interfície és possible traduir el llenguatge C a llenguatge assemblador, i després a llenguatge màquina, que és el llenguatge que utilitza el microcontrolador.

A més a més, els processadors PIC de la gamma que s'utilitzen en la secció d'electrònica són uns dispositius àmpliament utilitzats i és per això, que existeixen mòduls de codi aptes per incorporar dins dels programes de software que s'encarreguen d'executar funcions d'alta dificultat com ara la conversió dels caràcters de la pantalla LCD, o l'enviament de dades a través de missatges de CAN. A continuació s'explicarà més en detall com està estructurat el programa del conjunt Dashboard.

11.1. Estructura del software

S'ha intentat que el programa de la centraleta sigui el més intuïtiu possible. Per aconseguir-ho, una de les idees principals sobre la que s'ha treballat ha estat la separació, en diversos fitxers, de les funcions principals a executar de la centraleta. Cadascun d'aquest mòduls s'encarrega de fer un seguit de funcions auxiliars que després, en el programa principal, s'utilitzen per crear el codi de funcionament de la centraleta.

El programa d'aquesta centraleta consta de diversos elements, doncs, que confereixen una total funcionalitat a la centraleta:

- *Headers*: Altrament dit capçaleres, són mòduls d'informació que contenen variables o definicions de funcions que fan el programa principal més lleuger i intel·ligible.
- *Source Files*: Programes auxiliars al joc d'instruccions que faciliten la tasca de programació d'aquest. Es tracta de petits programes que contenen funcions que prèviament han estat definides al header. D'aquesta manera, es pot continuar fent el programa principal més lleuger.

- *Main Program*: Altrament dit el joc d'instruccions, és la part principal del codi i és la que s'encarrega de definir les funcions finals que el conjunt electrònic acabarà efectuant.
- *Linker*: Software que s'encarrega d'ajuntar tots els elements dits amb anterioritat i preparar el codi per a que el pugui llegir el microcontrolador. Sense el linker el codi no es pot ajuntar.

A continuació s'explicarà les funcions dels diversos headers utilitzats així com els diversos submòduls que integren els fitxers de codi font (*source files*).

11.1.1. Headers

Cada header explicat a continuació té una funció específica a desenvolupar dins del programa principal.

- *Can18f258:* Es tracta del header específic a incorporar per poder incloure dins del programa funcions que permetin enviar i rebre missatges de CAN.

- *Adc:* Mòdul idoni per poder treballar amb entrades analògiques. Implementa funcions de lectura de variables analògiques i permet saber si s'han realitzat les conversions.

- *Delays:* Header que implementa funcions de retard del temps de cicle desitjat. Aquestes normalment s'utilitzaran per evitar rebots dels botons o aguantar comandes en la LCD i els registres. En definitiva, aquest header s'utilitzarà per tenir un domini temporal sobre la comanda que es desitgi.

- *Xlcd:* Llibreria pròpia de Microchip implementada per a dispositius LCD que es regeixen pel controlador Hitachi HD-44780. Té incorporades funcions per escriure còmodament caràcters a la pantalla.

- *Stdlib:* Aquest header conté majoritàriament funcions que canvien el caràcter d'una variable. Es podran fer canvis de variables char, int, string... a qualsevol altre tipus de variables.

- *EMestats:* Header implementat pels membres de l'equip que funciona com a base per definir variables i funcions que serviran per programar el submòdul d'estats i modes del conjunt Dashboard.

- *EMlcd:* Mòdul header que incorpora funcions complementàries per treballar amb una LCD compatible amb la llibreria Xlcd, que fa l'ús d'aquesta molt més intel·ligible.

- *EMreg:* Aquest header s'utilitza per definir les diverses entrades dels registres SPI que controlen els LEDs de rpm del motor i SOC del Tractive System del vehicle. Es defineixen, a més els corresponents LEDs per tal de que s'activin quan les circumstàncies ho requereixin.

Tot seguit s'explicaran ens diversos mòduls que podem trobar dins del programa del conjunt Dashboard.

11.1.2. LCD

En aquest mòdul s'hi allotgen un seguit de *Source Files* que tenen a veure amb el correcte funcionament de la pantalla LCD. La majoria d'aquests arxius són complementaris a la llibreria xlcd, com ara l'arxiu *busyxlcd.c* que ens permet saber quan la pantalla està "ocupada", és a dir, fent una tasca concreta. D'altres han estat implementat per l'equip a partir del header esmentat anteriorment i funcions de la llibreria xlcd.

En són exemples els arxius següents:

- InicialitzarLCD: Programa que s'encarrega d'inicialitzar correctament la LCD. Recordem que aquest dispositiu es regeix per un controlador Hitachi HD-44780 i per tant, disposa d'unes variables d'inicialització concretes que només serveixen per a aquest controlador. Si es volgués canviar de dispositiu LCD s'hauria d'anar amb compte a l'hora d'escollir una pantalla. Si bé es volgués mantenir l'arxiu d'inicialització, la pantalla hauria de portar el mateix controlador. Si aquest no fos el cas, s'hauria de modificar l'arxiu per tal d'adaptar-lo a les noves característiques de la pantalla.

- UbicarCursor: Programa que, com indica el seu nom, ens ajudarà a ubicar el cursor de la pantalla en la posició que més convingui mitjançant la introducció d'un valor numèric que equival a la posició del cursor. En el nostre cas les posicions de més importància són les dels dos extrems de la pantalla en els que podem començar a escriure, que equivalen als nombres 0x00 i 0x40 en hexadecimal.

- NetejaLCD: Programa que permet netejar la pantalla de qualsevol informació que hagi mostrat prèviament. És una manera ràpida i senzilla de "resetejar" la pantalla. En el codi també s'utilitzarà com a mesura de protecció.

- PantallaInici: Programa confeccionat amb l'objectiu de fer una mica més atractiu el dispositiu. Combina les barres de LEDs i la pantalla, per fer un petit programa d'introducció del dispositiu.

11.1.3. Modes i Estats

Aquest mòdul de programes és clau per a entendre en funcionament del Dashboard. Una centraleta d'aquestes característiques ha d'actuar en diferents estats, ha de mostrar diversa informació d'importància i ha de ser capaç, a més d'alertar al pilot o a qualsevol membre de l'equip de qualsevol irregularitat en el funcionament del monoplaça. Com la pantalla és petita i només té dues línies de caràcters, s'han hagut d'implementar diversos estats que donaran al pilot la màxima informació disponible sobre l'estat del cotxe.

Així doncs podem diferenciar diversos tipus d'estats segons la seva importància i significat:

- Estats informatius: Conjunt d'estats que s'encarreguen de mostrar informació d'importància per al pilot i als membres de l'equip. Per exemple, es té informació sobre la tensió mínima de les cel·les així com la temperatura màxima, el valor de voltatge del bus de *Tractive System*, la temperatura de l'inversor i del motor, i el mode de cursa en el que ens trobem.
- Estats d'alerta: Estats que s'encarreguen d'alertar al pilot sobre fets que a curt o a llarg termini pugui ocasionar problemes en el funcionament del monoplaça. El propòsit d'aquests estats és el d'informar al pilot per tal de que ell mateix pugui efectuar les accions necessàries per a que el monoplaça no pateixi, o pateixi les mínimes conseqüències.
- Estats de fallada: Informa al pilot que el cotxe s'ha apagat degut al mal funcionament d'algun component en concret. És purament informatiu donat que el cotxe s'apaga de totes maneres per tal d'evitar mals majors.
- Estats d'edició: Permeten al pilot modificar paràmetres que afecten a la potència del motor i el control de l'inversor amb els botons del panell. D'aquesta manera no cal apagar el cotxe i programar-lo en parat per tal de fer proves o adaptar-lo a les diverses proves de la competició.

Sabent això, es pot prosseguir explicant algunes de les funcions més importants que incorpora aquest mòdul:

- Consulta, edició, *failure*, *warning*: Funcions que ens ajuden a distingir els diversos tipus d'estats en els que el dispositiu es pot trobar.
- CanviEstat, CanviMode, CanviVar: Funcions que detecten si en el programa s'ha produït el canvi d'estat, mode o de variable respectivament.

- Filtre_Boto: Funció que ens ajudarà a identificar quan s'ha premut un botó. D'aquesta manera sabrem quan s'ha de passar de pantalla o editar algun paràmetre.

11.1.4. Registres SPI

Pel que fa als registres, com s'ha comentat amb anterioritat, són els responsables de controlar dues barres de LEDs (cadascun dels dos registres instal·lats s'encarrega d'una de les barres de LEDs). Per això s'incorporen diverses funcions que s'encarreguen de dur-ho a terme. Les més importants de mencionar són, potser les que dictaminen quin nombre de LEDs i quins exactament són els que s'encendran per a cada cas. Cada barra de LEDs es compon de deu LEDs de muntatge SMD. A més, en el header s'ha definit, per a cada cas possible, l'actuació dels registres tenint en compte les franges d'activació dels LEDs.

Per exemple, si ens trobem al 95% de capacitat de càrrega de les bateries, serà necessari mostrar encesos els nou primers LEDs de la línia donat que és un valor que es troba entre el 90% i el 100%. Per tant, al header es defineix una entrada corresponent a tenir els nou primers LEDs encesos i en els programes CANVIARLEDSRPM i CANVIARLEDSBAT (es poden veure en la Figura 11.1), s'implementa.

11.2. Programa principal

11.2.1. Estructura del programa principal

Com s'ha comentat amb anterioritat, el programa del conjunt *Dashboard* consta de tres mòduls d'informació que s'encarreguen d'efectuar diverses accions auxiliar ajudant al programa principal a desenvolupar totes les seves tasques. Com s'observa en la Figura 11.1 següent, els tres mòduls alimenten al programa principal i al mateix temps els headers defineixen les variables a utilitzar, tant en els mòduls com en el programa principal. D'aquesta manera, canviar parts específiques del software és més ràpid donat que és més fàcil de trobar el codi.

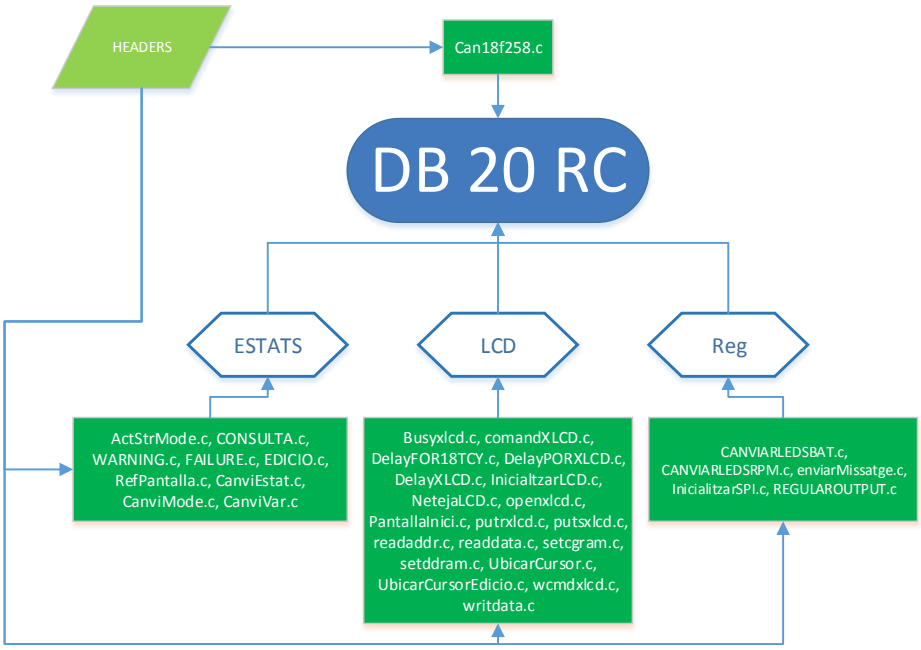

Figura 11.1 Arxius del programa principal. Font Pròpia.

Ara es procedirà a explicar una mica més en detall el funcionament del programa principal. Des del punt de vista dels pilot, és essencial que les distraccions a l'hora de pilotar el monoplaça siguin mínimes. Es necessita que les accions que aquest hagi de fer en cursa siguin poques i estiguin clares. Això també s'aplica a la Dashboard.

El programa de la Dashboard està pensat per a que la informació a assimilar en cada moment sigui clara i concisa per a que el pilot no hi hagi de parar gaire atenció. Així doncs, el funcionament del programa és el següent.

Un cop passada la pantalla d'inici de la centraleta, el programa s'inicia en un estat que anomenarem d'informació. L'estat d'informació conté diverses pantalles que, com indica el nom de l'estat, serveixen per donar informació específica sobre l'estat del monoplaça. Aquestes pantalles es poden passar amb un boto situat al panell del monocasc i amb un altre botó al volant, per quan el pilot el trobi en cursa.

Paral·lelament a l'estat d'informació, existeix l'estat d'edició, que s'activa al pressionar el botó edició del panell del monocasc, i el qual permet al pilot modificar certs paràmetres de funcionament del monoplaça.

Per complementar el programa, des de qualsevol d'aquests estats previs s'accedeix directament als estats de *warning* i *failure*, donat que si el cotxe té alguna incidència és de vital importància avisar al pilot de quin problema s'està produint. A continuació es mostra una figura amb un diagrama d'estats del programa.

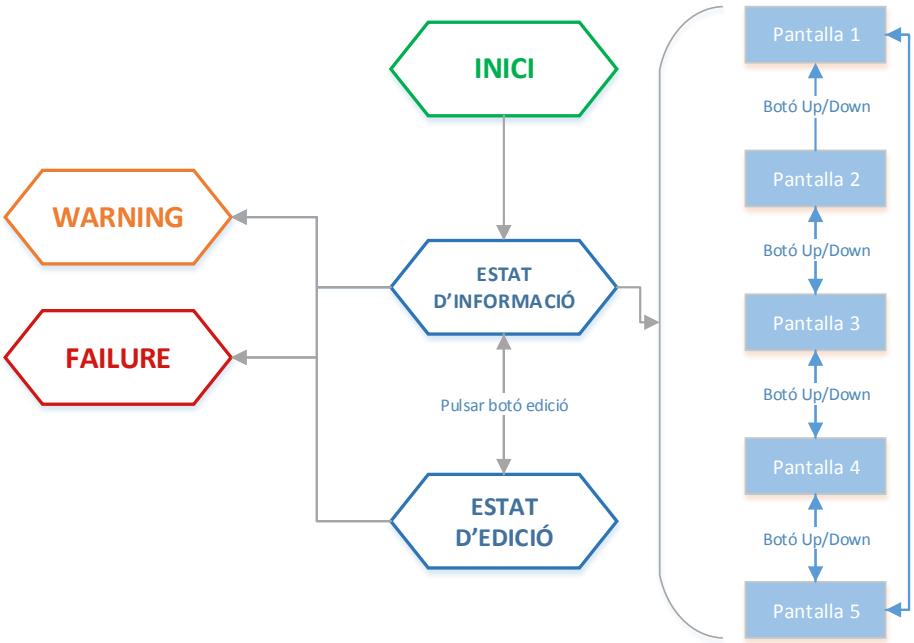

Figura 11.2 Accions bàsiques del programa principal. Font pròpia.

Pel que fa a l'estat d'informació cal destacar cinc pantalles diferents. El fet de triar una LCD de 2x16 caràcters limita la informació a mostrar en cada cas, però s'ha volgut que sigui així per fer una selecció coherent de les dades a ensenyar. Les pantalles es canvien accionant els botons *Up* o *Down* (com es veu en la Figura 11.2) i s'expliquen a continuació.

- Una pantalla contindrà informació sobre el nivell de càrrega del circuit de *Low Voltage* del vehicle i la tensió del Bus de les bateries del monoplaça.
- Es disposa una pantalla amb la tensió mínima d'una cel·la de bateries i número d'aquesta cel·la en concret.
- De la mateixa manera es troba una pantalla amb la cel·la que té la temperatura més elevada i el valor d'aquesta.
- També s'hi pot trobar informació sobre la temperatura del motor i l'inversor.
- Finalment hi ha una pantalla que diu simplement en quin mode ens trobem.

Tota la informació es rep directament de la centraleta principal (dSPACE) on es processa, arriba a la centraleta llesta per mostrar-la directament en pantalla. Aquesta informació es rep per CAN així com també s'envien els paràmetres modificables de l'estat edició.

11.2.2. Funcionament del programa principal

El joc d'instruccions de la centraleta (programa principal DB 2.0 RC) té tres blocs de codi a tenir en compte.

De totes maneres cal dir que prèviament cal tenir present la declaració inicial de variables i etiquetes que s'utilitzaran en el programa per mostrar per pantalla així com les diverses inicialitzacions de les entrades i sortides del PIC (TRIS) i la definició del mòdul del conversos A/D (ADCON).

Un cop inicialitzades totes les variables necessàries per a que el programa faci la seva funció s'inicia un primer bloc de codi que consisteix en gestionar el botons i tot seguit, depenent de l'estat en què ens trobem, s'executaran unes ordres o unes altres.

A continuació es mostra una figura que descriu la successió d'accions que s'executen en el programa principal.

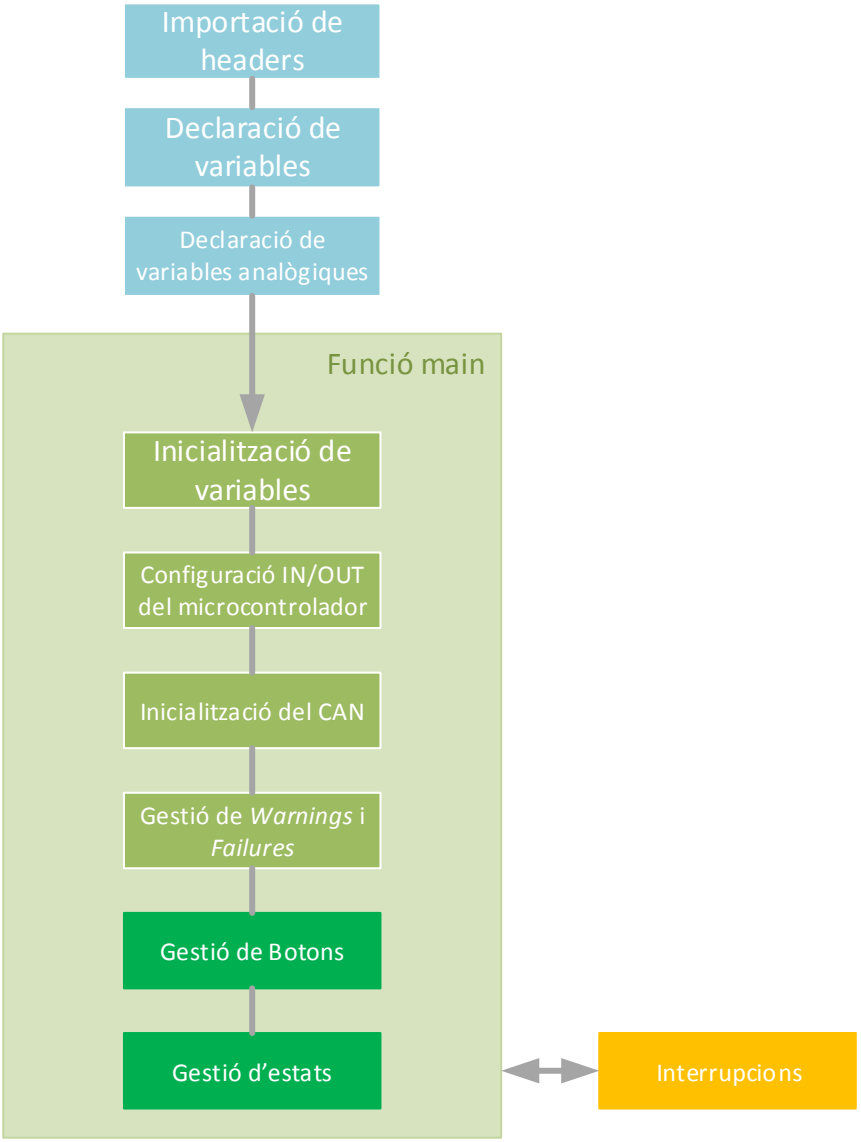

Figura 11.3 Estructura esquemàtica del programa principal. Font pròpia.

Cal destacar també la estructura del bloc de gestió d'estats, que al capdavall funciona com una màquina d'estats. Aquests estats variaran segons es donin o no les condicions de canvi adequades per a poder-lo executar. Aquesta estructura es la que es mostra en la Figura 11.4 i com es pot veure, la estructura cíclica del bloc informatiu es veu alterada cada cop que es prem el botó d'edició o salta algun *Warning* o *Failure*.

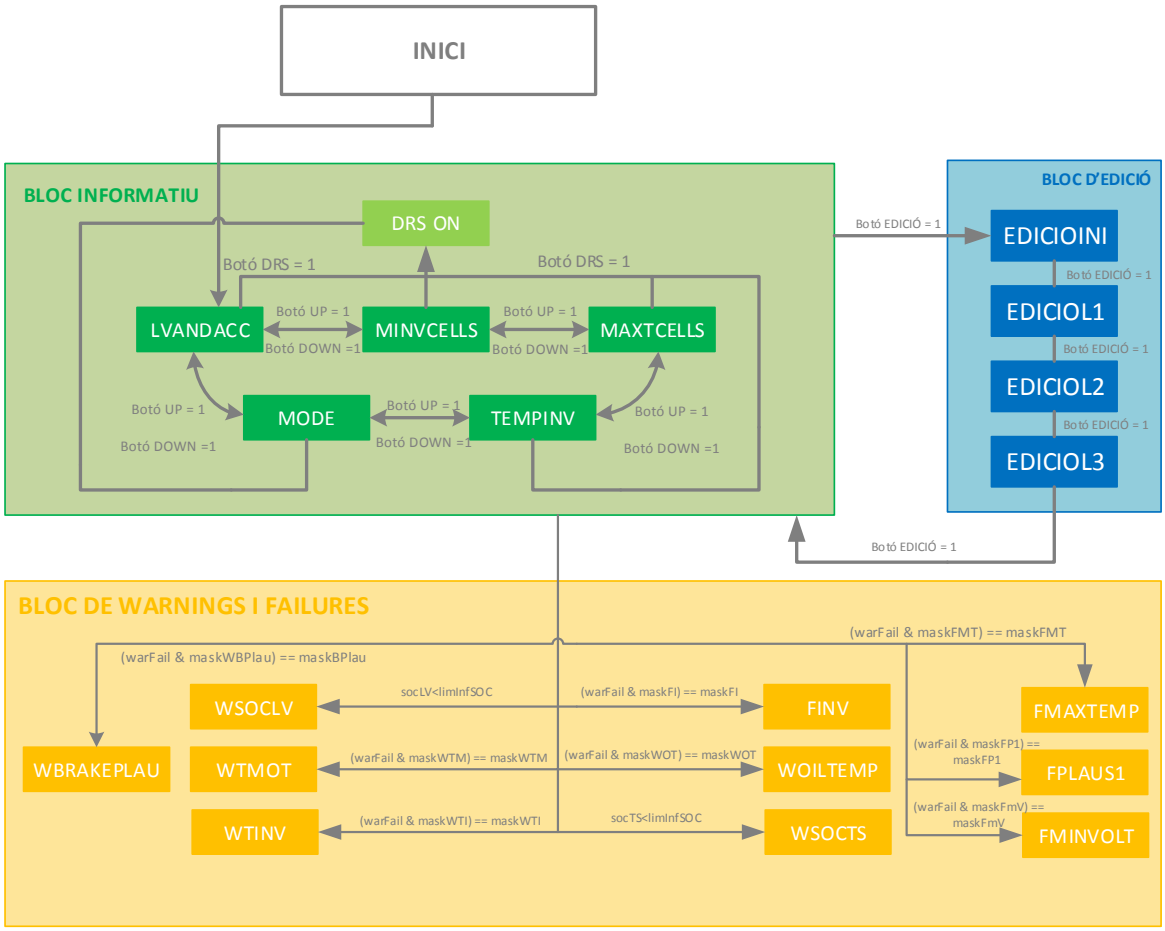

Figura 11.4 Funció switch del programa principal amb tots els modes. Font pròpia.

12. Disseny mecànic

En aquest apartat ens centrarem en com el conjunt ha estat dissenyat físicament per tal de complir les especificacions requerides tant per la secció d'electrònica com per els pilots del monoplaça.

Tot procés de disseny físic de qualsevol element consta d'una part de disseny virtual (en aquest cas ho durem a terme amb un programa de disseny CAD), i d'una part d'assemblatge del conjunt.

12.1. Disseny CAD del conjunt Dashboard

El disseny CAD de la centraleta comença en el punt on es té una superfície sobre la que treballar i disposar els diversos elements clau de visualització i acció del pilot, així com d'altres elements externs a l'ECU, ja siguin elements de seguretat o d'ajust dinàmic del vehicle.

En el cas que ens ocupa, la solució final adoptada passa per tenir dues centraletes diferenciades, com ja s'ha dit en l'apartat d'especificacions. La que ens interessa en la fase de disseny és la que s'encarrega de contenir els elements clau d'interacció amb el pilot. En aquest cas, a més de la centraleta els elements que s'han de disposar al panell del xassís són els següents:

- Botons d'acció del pilot: S'haurà de disposar sobre la superfície un total de quatre botons i un interruptor rotatori, que el pilot podrà accionar quan cregui convenient.
- Elements de visualització: Disposem d'una pantalla LCD i dues barres de LEDs que indiquen la capacitat de les bateries i les revolucions per minut del motor en un instant donat.
- LEDs de normativa, *warning* i *failure*: Com s'indica, s'han de disposar un seguit de LEDs que permeten tant al pilot com a qualsevol membre de l'equip o jutge d'inspecció tècnica saber de manera ràpida i senzilla is el cotxe es troba en algun estat d'avís o fallada, o si per contra tot funciona correctament.
- Repartidor de frenada: Conjuntament amb l'equip s'ha decidit que el calibratge dels frens es pugui fer de manera còmoda des del *cockpit* del pilot, donat que la temporada anterior aquest era un element de difícil accés.
- *Shutdown Button*: La normativa de l'organisme FSAE diu que el en el *cockpit*, hi ha d'haver un botó que s'encarregui de desactivar el monoplaça en cas de fallada, d'almenys 24mm de diàmetre. Per a mes informació consulti Annex D.

Tenint en compte que tots aquests elements s'han d'integrar en un panell del xassís, s'efectua un esbós sobre la superfície a treballar, tal com es veu en la Figura 12.1, per tal de posicionar els elements de manera que es pugui començar a treballar en el disseny del hardware.

Figura 12.1 Esbós dels elements visuals de la dashboard en el xassís. Font pròpia.

12.1.1. Espai disponible i ergonomia

Un punt que també cal tenir en compte a l'hora de disposar els components és l'espai que poden ocupar. En el nostre cas existeixen unes dimensions crítiques pel que fa a la dimensió de la centraleta, ja que en el mateix sector del monoplaça hi va el suport de la columna de direcció del vehicle. A més s'ha de tenir en compte la limitació de visibilitat que suposa tenir el volant en front del quadre de comandaments.

A l'hora de fer definitiva la disposició de tots els elements en el panell dels xassís, caldrà tenir en compte l'ergonomia del conjunt. Donat que tot el monoplaça es dissenya seguint un model del 95 percentil home, l'ECU que ens ocupa no n'és una excepció.

Per disposar els elements es fa un disseny CAD que incorpora el volant i s'avaluen les línies de visió del pilot. Cap element del volant s'hauria d'interposar entre els elements de visualització i els ulls del pilot, de la forma que es mostra en la Figura 12.2.

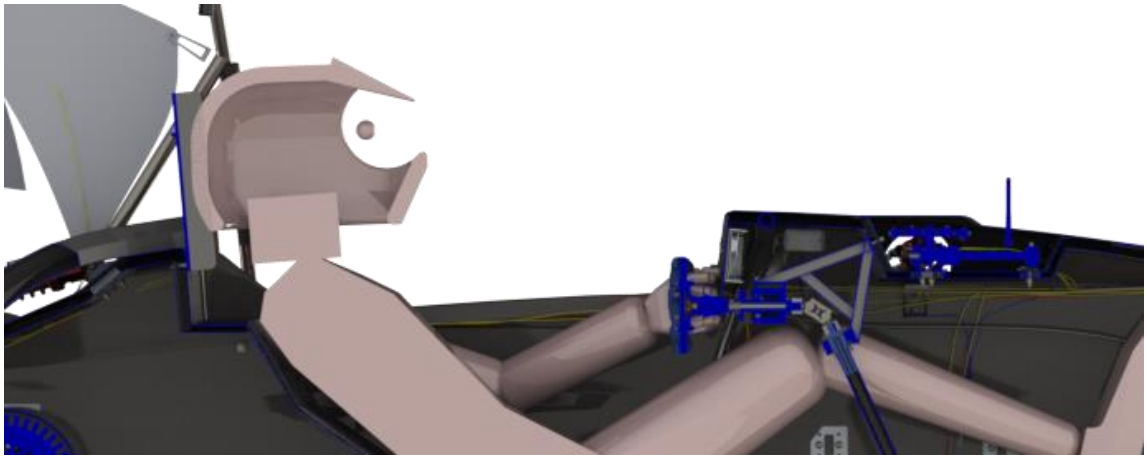

Figura 12.2 Disposició de la centraleta amb el conjunt de la direcció. Font pròpia.

Així doncs, les dimensions de la caixa de l'ECU adjunta són 153x84x33mm, mesures que fan que no hi hagi cap interferència ni amb el suport de la direcció ni amb el volant, com es veu a la Figura 12.2. El pas que prossegueix un cop definides les mesures de la caixa, i dissenyat el hardware que conté el conjunt (recordem que el disseny mecànic i el disseny del hardware es porten de manera paral·lela), és l'ensamblatge de tots els components.

És important no deixar de banda l'estètica del conjunt, ja que precisament el panell de comandaments és un element que no passa desapercebut. S'ha intentat, com s'ha comentat anteriorment, integrar el conjunt el màxim possible en l'estructura del xassís. A continuació es mostra una imatge del resultat final amb el conjunt del xassís i la resta del vehicle. En cas de voler consultar els plànols d'ambdues centraletes, consulti a l'annex el punt A.

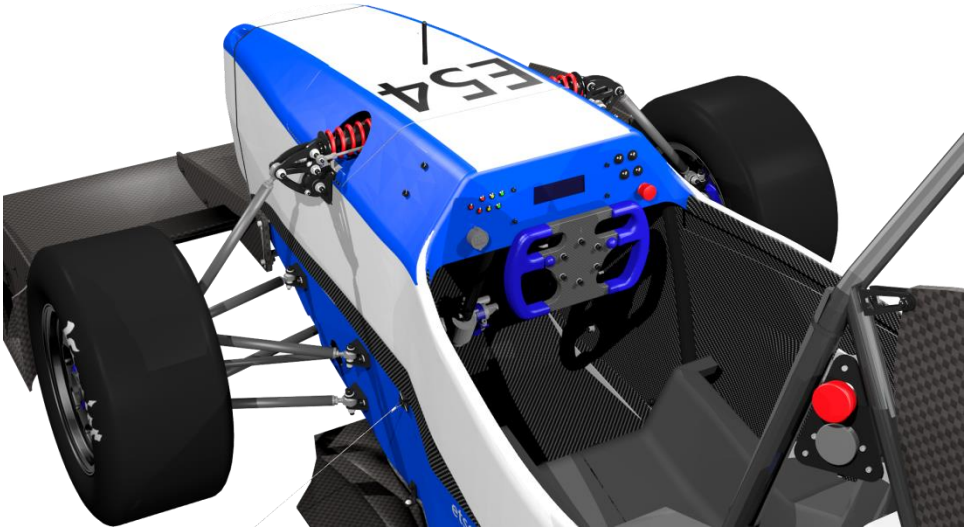

Figura 12.3 Render del conjunt direcció-volant-dashboard. Font pròpia.

12.2. Ensamblatge del conjunt Dashboard

Un cop les PCBs de l'ECU han estat soldades i correctament testejades i verificades, es procedeix a l'ensamblatge del conjunt. Com s'ha esmentat en el punt (Especificacions) de la memòria, el conjunt electrònic *Dashboard* consta de dues centraletes principals, la del panell i la centraleta de control, que es situa més a dins del xassís per evitar l'accés d'aigua sota cap circumstància.

La centraleta de control no es d'importància en la fase de disseny CAD donat que aquesta disposa molt d'espai darrera del suport de direcció. En cap moment s'ha tingut cap conflicte d'espai amb cap altre element del monoplaça i per tant, només s'ha hagut de posicionar.

Referent doncs a l'ensamblatge, relatarem per parts els processos constructius de les dues centraletes per separat.

12.2.1. Main Control Unit

Un cop soldada la PBC de la MCU, el procediment a seguir és senzill, donat que aquesta PCB es s'ha dimensionat per cabre en una capsa comercial d'alumini extruït que repèl a les EMI. La capsa té unes dimensions de 87x59x31mm i disposa de dues tapes que es cargolen. D'aquesta manera la PCB es pot treure per dos llocs diferents així com els connectors d'aquesta.

Figura 12.4 Vista explosionada de la MCU. Font pròpia.

Els connectors es disposen en les tapes de la capsa i a les bases interiors d'aquesta es lamina fibra de vidre per evitar la possible conducció de senyals de l'alumini. En la Figura 12.5 es poden observar les diferents etapes abans esmentades.

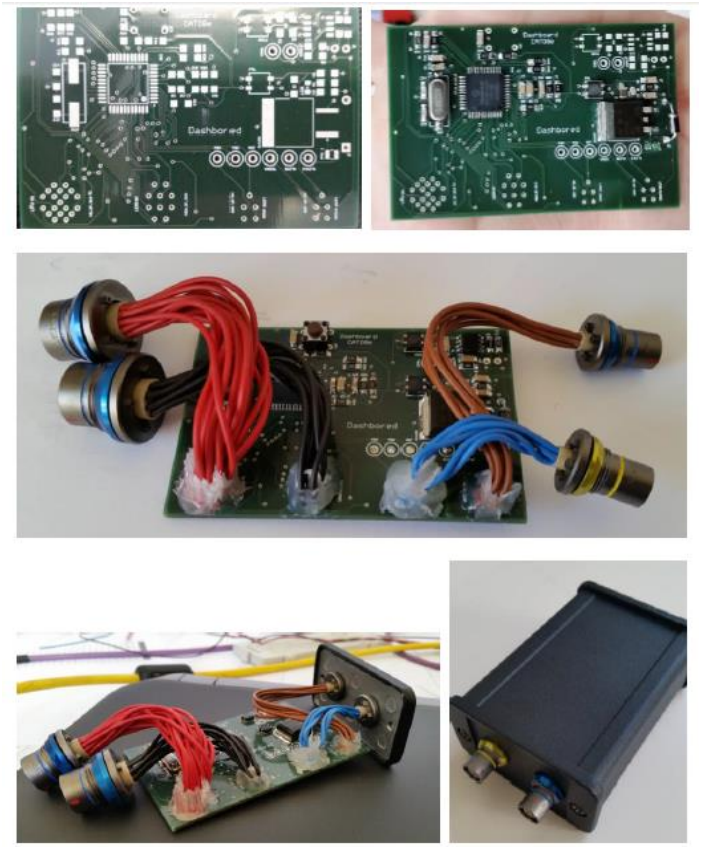

Figura 12.5 Procés constructiu de la centraleta de control. Font pròpia

12.2.2. Display Unit i elements del xassís

Per tal d'ensamblar aquesta centraleta s'ha pensat en fer servir una capsa feta d'ABS seguint el procés de fabricació de RP (*Rapid Prototyping*) i una tapa de metacrilat per tal de visualitzar correctament els elements que conté i al mateix temps segellar-la de l'aigua. Els connectors es posicionen als costats de la capsa, així com un parell de passa murs per tal de fer sortit les connexions dels diversos botons i LEDs que van integrats al panell del xassís.

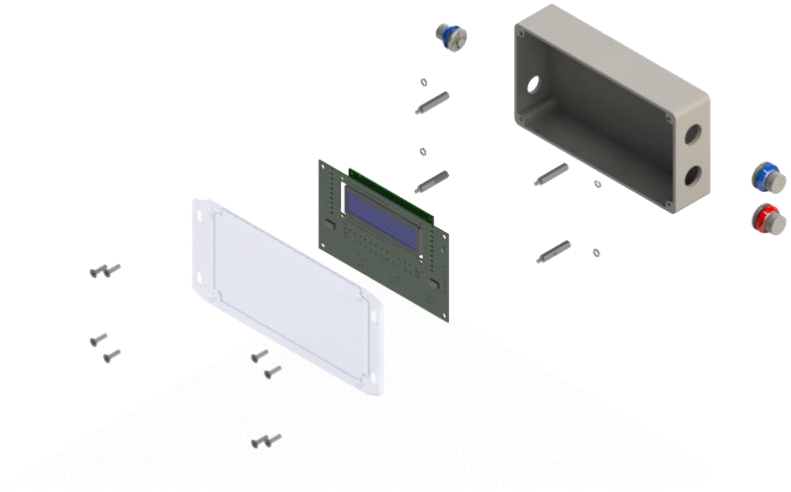

Figura 12.6 Vista explosionada de la DU. Font pròpia.

En les figures mostrades a continuació es poden veure les diferents etapes del procés constructiu. Entre les dues centraletes s'hi ha establert una mànega de cables per tal de transmetre es senyals des de la MCU fins a la DU.

Figura 12.7 Procés constructiu de la centraleta de display. Font pròpia.

13. Comunicació ECU – Pilot –Vehicle

En aquest apartat es descriu com la centraleta es comunica tant amb el pilot com amb el vehicle. Aquest és l'objectiu final del dispositiu; poder comunicar-se eficientment amb el pilot i la *main* ECU per tal de millorar el funcionament del vehicle.

13.1. Interacció ECU-Pilot

13.1.1. Interfície

En la imatge següent es pot veure el resultat final del *Dashboard* i, per tant la interfície a interpretar per al pilot. Com s'ha comentat amb anterioritat el dispositiu compta amb una pantalla LCD, quatre botons i set LEDs d'avís i fallada i el selector de modes. A més complementari a la interfície, es compta amb el *Shutdown Button* i el repartidor de frenada.

També es pot observar que en el volant s'han disposat dos botons. El de la dreta té com a funció activar el DRS *(Drag Reduction System)* i el de l'esquerra la de passar les pantalles de la LCD en cursa, ja que prémer un botó del panell del monocasc en plena cursa resulta molt incòmode.

Figura 13.1 Interfície del pilot en el monoplaça CAT08e. Font pròpia.

Es procedirà a explicar tots els elements en detall a continuació.

LEDs

Els LEDs de la *Dashboard* integrats en el panell del monocasc tenen tres funcions diverses, com s'ha comentat amb anterioritat. Es disposen de LEDs de notificació de l'estat del monoplaça, així com els d'avís i fallada.

Pel que fa als LEDs de fallada, es disposa de tres LEDs: BMS, IMD i *Failure.* Els dos primers, vénen marcats per la normativa de l'organisme FSAE i s'ha cregut que un altre LED era necessari per respondre davant de fallades de l'inversor, motor i transmissió. A més dels LEDs de fallada, també es disposa de dos LEDs d'avís. Un de general per qualsevol avís i un altre d'específic per si falla el *plausability check* (veure annex punt B). També es disposen de dos LEDs per indicar l'estat de funcionament del monoplaça; el LED de *Control System* i el de *Tractive System.* Tot plegat es mostra en la següent imatge.

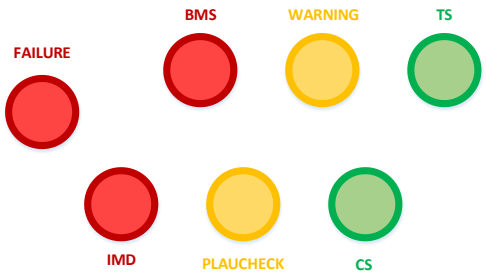

Figura 13.2 LEDs d'avís, fallada i estat del monoplaça. Font pròpia.

Els LEDs d'estat del cotxe tenen un funcionament específic per indicar què passa en cada cas, com s'indica en la Taula 13.1.

Estat LED CS	Estat LED TS	Significat
Intermitent	Apagat	En espera a que tots els elements de baix voltatge estiguin preparats
Encès	Apagat	Tots els elements de baix voltatge estan preparats i funcionant correctament
Encès	Intermitent	Els sistemes d'alt voltatge del vehicle entren en funcionament a l'espera de prémer el botó d'encesa.
Encès	Encès	Cotxe en mode *Ready to Drive* preparat per a córrer.

Taula 13.1 Estats d'engegada del monoplaça. Font pròpia.

PANTALLA

Pel que fa a la pantalla LCD, podem contemplar diversos tipus d'informació a tenir en compte, com s'ha dit amb anterioritat: Informació, paràmetres editables, i avisos i fallades.

A continuació es poden veure les diverses pantalles d'informació i de quina manera canvien.

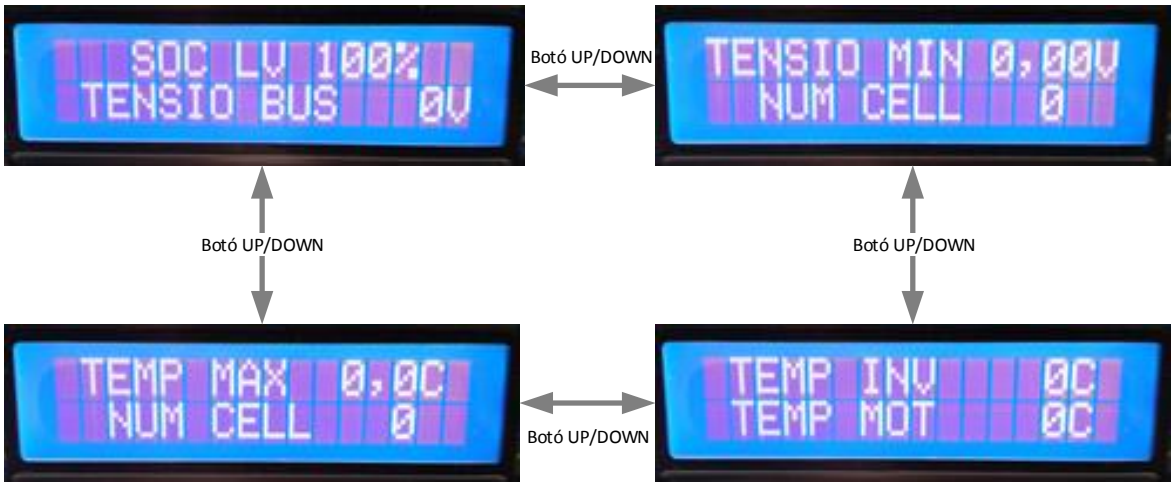

Figura 13.3 Pantalles d'informació de la Dashboard. Font pròpia.

A més a més existeixen pantalles d'avís i fallada que sorgeixen en el moment en que es produeix qualsevol de les fallades o *warnings* explicats amb anterioritat en l'apartat LEDs del punt 13.1.1, simplement per complementar al LEDs i tenir certesa de quin ha estat el problema.

13.2. Comunicació ECU-Vehicle

13.2.1. Comunicació CAN

La *Dashboard*, al ésser únicament un dispositiu que funciona a mode de display, només s'ha d'encarregar de mostrar tota la informació que li arriba. L'ECU no processa cap dada per ella mateixa, a excepció dels paràmetres editables i el DRS. Tota la informació es processa a dSPACE i s'envia via CAN a la MCU. Aquesta s'encarregarà d'executar les accions convenients depèn de la informació que li arribi.

Pel que fa als paràmetres informatius, la centraleta s'encarrega de mostrar-los en el format en el que arriben des de la dSPACE. De totes maneres, a l'hora de mostrar aquests valor en pantalla s'adornen per fer una interfície més agradable, com s'ha vist anteriorment.

Tota aquesta informació es rep via CAN, i els paràmetres editables s'envien a dSPACE per a que actualitzi la nova situació del monoplaça.

Per rebre la informació s'ha disposat d'un missatge de CAN de 8 bytes de longitud i, per enviar-la, d'un altre de 2 bytes de longitud, donat que no és necessari tanta longitud si es disposa de tan poca informació a enviar.

14. Test i validació

14.1. Proves de hardware

Per provar el hardware s'ha seguit una estratègia concreta que permet una millor detecció d'errors. El procés a seguir és soldar la PCB per mòduls (els mòduls que s'han comentat en el apartat 10.1 d'aquesta memòria).

Primerament, es solda el mòdul d'alimentació de la PCB. Es comprova si s'encén el LED verd que indica que tot és correcte. Si això passa, es mesura amb el voltímetre la sortida del mòdul. Aquesta hauria de donar 5 Volts o un valor molt semblant. Si no fos així, s'hauria de mirar component a component per veure quin és el que dóna dificultats.

Un cop comprovat que la PCB s'alimenta correctament, es procedeix a soldar el mòdul de programació, que conté el microcontrolador i tots els elements de control d'aquest, com el cristall i els condensadors de desacoblament. S'ha de soldar tot el mòdul per poder efectuar els protocols de validació ja que si faltés algun component es podria fer malbé el microcontrolador. Per comprovar si s'ha soldat correctament es connecta la PCB a l'ordinador mitjançant un dispositiu programador (*PICKit 2* en el cas que ens ocupa) i amb un programa molt senzill s'intenta programar el dispositiu. Si no dóna cap error ni de detecció del microcontrolador ni de programació del dispositiu, vol dir que el mòdul s'ha soldat correctament.

Per últim es solda el mòdul CAN. El procediment és, en essència, el mateix que per al mòdul de programació. S'intenta programar el dispositiu amb un programa provat de temporades anteriors. Aquest programa ja permet rebre i enviar senyals de CAN. Un cop programat amb èxit, es connecta un sniffer de CAN (en el cas que ens ocupa, el *KVASER Leaf Light v2*), i es mira d'enviar i rebre missatges. Si no hi ha cap error en els missatges, si els identificadors són els correctes i la informació transportada també, poder donar el conjunt de la PCB per vàlid.

Cal dir en que la *Display Unit* només s'han comprovat les connectivitats entre els diversos elements, ja que només es tractava d'implementar la pantalla , els LEDs i les sortides dels botons.

14.2. Proves de software

Per testejar el software s'ha començat jugant amb el codi, ja que no es tenia experiència prèvia amb aquest tipus de llenguatge. S'han començat fent proves senzilles com encendre un LED, accionar botons, etc. S'ha anat complicant encenent LEDs via CAN, accionant un botó... Aquesta etapa de proves amb el software va ser però, la inicial. Un cop es va aprendre a moure's pel programa MPLAB IDE, s'ha començat a fer el programa del dispositiu.

L'estratègia a seguir per a fer les proves de software va ser anar atacant el codi per parts. Primerament es va començar amb la pantalla, fent proves d'escriptura. Un cop dominat aquest aspecte, es va provar d'activar els registres i els modes. Un cop fetes gran part de les modificacions en el codi, es van iniciar les proves juntament amb la *Main ECU* i el cablejat del vehicle. S'enviaven missatges des de *dSPACE (Main ECU)* i es mirava com reaccionava la centraleta.

L'últim aspecte de les proves realitzat ha estat la implementació del sistema DRS *(Drag Reduction System),* que s'ha implementat en cada estat informatiu de la *Dashboard* a mode de polsador. El DRS es desactiva quan es deixa de prémer el botó, o bé quan s'acciona el sensor de frenada. Així el pilot s'assegura de desactivar el dispositiu de reducció de *drag* i no perdre tracció a les corbes. Es connecta el dispositiu *Dashboard* amb *dSPACE* i es mira què passa quan es prem el botó. Si el funcionament és correcte, s'hauria d'activar el servomotor de l'aleró de darrera, que acciona el DRS.

14.3. Proves de muntatge i cursa

Malgrat haver assegurat la validesa tant de hardware com de software, abans de provar el conjunt en cursa cal provar els aspectes mecànic de la centraleta i, en especial, la seva estanqueïtat. Per fer-ho es tanquen les capses amb un pes d'acer a dins (sense cap mena de component electrònic a dins per no fer-los malbé), i es submergeixen en aigua durant uns cinc minuts. Tot seguit es retiren de l'aigua i es comprova el resultat per inspecció visual. Si no ha entrat gens d'aigua el resultat és més que satisfactori. En tot cas, si hi entrés aigua s'hi haurien d'aplicar les mesures oportunes per tal de que no passés.

Un cop validat el conjunt, és hora de provar-lo en el seu ambient definitiu. A dins del monoplaça i en cursa. Primerament es fan diverses proves de muntatge i desmuntatge veient que sigui fàcil tal i com es volia aconseguir. Es fixa la centraleta de control (MCU) amb tires de *velcro* adhesives i es comprova que la centraleta no es mogui. Tot seguit s'insereix la centraleta de display (DU) per darrera del panell del monocasc i es colla amb quatre

cargols. Un cop s'ha comprovat que á centraleta de display és fàcil de treure i posar (aquest és un objectiu fixat per al projecte), es mira que tot el conjunt sigui resistent als cops.

Aquest és un punt important ja que al tractar-se d'un espai bastant reduït els pilots acostumen a donar cops amb el genoll al panell del monocasc cada cop que surten del vehicle. Per tant, tot el disseny anterior no hagués servit de res si el conjunt no hagués aguantat bé els cops del pilots. En el nostre cas, al formar part del xassís, es comprova que el conjunt sembla ser suficientment robust per poder funcionar sense problemes.

Per últim, es comprova la validesa del conjunt fent córrer el monoplaça. Els pilots del vehicle seran els encarregats de valorar si finalment la centraleta fa el servei per al que ha estat dissenyada.

15. Pressupost econòmic

15.1. Costos de hardware

15.1.1. Material fungible

A continuació es mostra una taula amb els costos de tots els components electrònics i material divers que s'han utilitzat per a la elaboració del projecte.

Component	Preu Unitari (€)	Quantitat	Preu total (€)	Descripció
Condensador 10uF	0,089	1	0,089	
Condensador 1uF	0,087	3	0,261	
Condensador 100nF	0,093	8	0,744	
Condensador 560pF	0,091	2	0,182	
Condensador 15pF	0,089	2	0,178	
Condensador 0,1uF	0,087	1	0,087	
Condensador 4,7uF	0,090	1	0,090	
Resistència 470Ω	0,064	11	0,704	
Resistència 4,7kΩ	0,067	1	0,097	
Resistència 100Ω	0,052	2	0,104	
Resistència 120Ω	0,044	1	0,044	
Resistència 2,5kΩ	0,064	1	0,064	
Resistència 10kΩ	0,051	22	1,122	
Resistència 160Ω	0,048	1	0,048	
Resistència 100kΩ	0,061	1	0,061	
Resistència 600Ω	0,053	1	0,053	
1N4004	0,127	1	0,127	Díode
RBO08	0,45	1	0,450	Díode i Varistor
L7805	0,57	1	0,570	Regulador 12-5
MC33191	0,431	1	0,431	PTC
P6504	0,220	1	0,220	Reset PCB
Jumper	0,115	1	0,115	Jumper del CAN
PIC 18F4580-I/PT	5,300	1	5,300	Microcontrolador
ACM4520	1,52	3	4,560	Ferrita SMD
MCP2551	0,78	1	0,780	CAN Transceiver
XTAL	0,45	1	0,450	Cristall 20MHz

LED Verd	0,067	7	0,469	SMD
LED Taronja	0,084	6	0,504	SMD
LED Vermell	0,084	8	0,672	SMD
LED Blau	0,161	3	0,483	SMD
LED Verd	0,9	2	1,800	Through Hole
LED Taronja	0,9	2	1,800	Through Hole
LED Vermell	0,9	3	2,700	Through Hole
Botó	5,023	4	20,092	Botó Polsador
Selector	0,528	1	0,528	Selector 12 pols
MAX 6971	6,412	2	12,824	Registre SPI
LCD	16,600	1	16,600	Pantalla
Passa-murs	0,413	2	0,826	
Tapa metacrilat	12,840	1	12,840	
Caixa DU	36,510	1	36,510	
Caixa MCU	13,870	1	13,870	
Cargols MCU	0,200	4	0,800	
Espaiadors	0,461	4	1,844	
Cargols DU	0,200	8	1,600	
Femelles DU	0,200	4	0,800	
Termoretràctil	4,200	2m	8,400	
Cable senyal	0,391	5m	1,955	
Cable CAN	2,470	0,25m	0,618	
Placa MCU	240	1	240,000	PCB 4 capes
Placa DU	240	1	240,000	PCB 4 capes
LEMO de programació	24,600	1	24,600	
LEMO d'alimentació	24,600	1	24,600	
LEMO 10 pins femella	32,400	2	64,800	
LEMO 19 pins femella	34,800	2	69,900	
LEMO 7 pins femella	27,100	1	27,100	
LEMO 10 pins mascle	32,400	2	64,800	
LEMO 19 pins mascle	34,800	2	69,900	
SUBTOTAL			**954,066**	

Taula 15.1 Costos dels materials i components electrònics del projecte. Font pròpia

15.1.2. Material no fungible

A continuació es mostra una taula amb els costos del material i instrumentació que s'ha fet servir al llarg del projecte.

Eina	Preu (€)	Amortització	Cost total (€)	Descripció
Kvaser Leaf Light v2	312,41	10%	31,24	CAN Sniffer
Rohde Schwarz PSU	1372,26	15%	205,84	Font d'alimentació
Ordinador	879,00	33%	290,07	Eina bàsica de treball
Multímetre	75,75	20%	15,15	
Oscil·loscopi	525,00	10%	52,50	
PICKit 2	34,48	15%	5,17	Eina de programació
SUBTOTAL			**599,97**	

Taula 15.2 Costos del material no fungible del projecte. Font pròpia.

15.2. Costos de desenvolupament

15.2.1. Llicències de software

Eina	Preu (€)	Amortització	Cost total (€)	Descripció
Altium Designer 13	6357,97	33%	2098,13	Programa per dissenyar esquemàtics i *layouts* de PCBs
MPLAB IDE	0,00	-	0,00	Entorn de programació
Kvaser CANKing	0,00	-	0,00	Interfície del Leaf v2
Compilador C18	0,00	-	0,00	Converteix codi C en llenguatge màquina.
SUBTOTAL			**2098,13**	

Taula 15.3 Costos de les llicències de software utilitzades en el projecte

15.2.2. Hores de desenvolupament del projecte

Per al cost de les hores d'enginyeria s'ha considerat un preu unitari de 50€/hora. A continuació es mostra una taula amb el subtotal associat a aquest concepte.

Concepte	Hores	Preu Unitari (€)	Preu Total(€)	Descripció
Estudi Previ	30	50	1500	Estudi de viabilitat del projecte i opcions de disseny
Disseny del prototip	325	50	16250	Disseny mecànic i de hardware
Soldadura	30	50	1500	Soldadura de les PCBs
Disseny del software	100	50	5000	Adaptació del programa de les ECUs
Fabricació	100	50	5000	Fabricació del model
Validació	65	50	3750	Validació del model
SUBTOTAL			**33000**	

Taula 15.4 Costos associats a les hores de desenvolupament del projecte. Font pròpia.

15.3. Pressupost final

A continuació es mostra un pressupost total del que suposa la elaboració del projecte explicat en la memòria.

Concepte	Preu (€)
Cost dels materials fungibles del projecte	954,066
Cost dels materials no fungibles del projecte	599,97
Cost de llicències de software	2098,13
Cost de desenvolupament del projecte	33000
SUBTOTAL	**36625,166**
+IVA (21%)	
TOTAL	**44316,451**

Taula 15.5 Costos totals del projecte. Font pròpia.

16. Impacte mediambiental

16.1. Directiva RoHS

Com s'ha parlat anteriorment en el punt 6.3.3 aquest prototip s'ha construït seguint la normativa RoHS *(Restriction of Hazardous Substances)* i per tant, en tots els productes involucrats en la fabricació d'aquest prototip s'hi ha limitat la concentració de materials tòxics com Plom, Mercuri, Cadmi, Crom IV, PBB i PBDE.

Tant les plaques fabricades a l'empresa LabCircuits com tots els components i elements que han intervingut en la soldadura de les plaques de la centraleta s'han fabricat seguint aquesta directiva.

16.2. Formula Student Electric

Pel que fa a la globalitat del projecte Fórmula Student, resulta interessant recalcar-ne l'impacte mediambiental. Com a equip es té consciència de l'impacte de la tecnologia sobre el medi ambient i és per això que no només es fabrica un cotxe elèctric (deixant de banda la innovació tecnològica que ja suposa un projecte d'aquestes característiques), sinó que tots els materials que hi ha involucrats en la seva construcció han estat pensats tenint en compte la repercussió que pugui tenir en el medi ambient. Tant és així que fins i tot les resines per fabricar totes les peces de fibra de carboni són ecològiques.

Per tant, queda palesa que la consciència ecològica no només s'estén en el fet de construir i desenvolupar un sistema de propulsió elèctric, sinó que va molt més enllà.

Conclusions

Arribats a aquest punt és hora de valorar el treball efectuat al llarg del projecte i veure si s'han acomplert els objectius proposats al començament d'aquest. Per fer-ho es comentaran per separat els tres eixos principals del projecte: hardware, software i disseny mecànic.

Primerament, pel que fa al hardware, es partia de la base de tres anys d'experiència en la fabricació de centraletes (per part dels membres anteriors de l'equip) i això ha facilitat molt les tasques. En general es poden destacar dos punts claus referents al hardware:

- Moltes de les estructures a implementar en la placa ja estaven testejades amb anterioritat en altres prototips, el que ha facilitat enormement la detecció d'errors.

- Si bé el treball de disseny de hardware es podria haver millorat i optimitzat molt més, és remarcable el fet de dissenyar dues PCBs en un termini de tres mesos i mig, que compleixin les funcions requerides i a l'hora de validar-les no mostrin cap irregularitat.

De totes maneres, si el termini de disseny de hardware no fos tant reduït es podrien haver millorat aspectes com la compactació de les PCBs o la disposició d'alguns components en el *layout* que ara per ara fan que les pistes facin una traçada un pel enrevessada. No cal dir que en el món laboral aquesta tasca s'estén en un període bastant més llarg i per això es pot valorar la feina feta molt positivament.

Pel que fa al software, la idea d'aquest any era fer una adaptació del software de la temporada passada a aquest nou dispositiu i no cal dir, que aquesta tasca s'ha complert aconseguint un mòdul totalment operatiu que fa les tasques per a les que s'havia pensat. De totes maneres, com a futures línies de treball, és important tenir en compte els següents punts de possible millora:

- Convindria estructurar el software de tal manera que sigui més intuïtiu i fàcil d'entendre, almenys en el programa principal. Cal una estructura més neta ja que d'aquesta manera també s'aconsegueix un codi més intel·ligible. Per poder-ho fer caldria simplificar el programa principal deixant només les funcions clau per entendre'n el funcionament i ubicar les funcions auxiliars en diversos mòduls per facilitar tant la detecció d'errors com la posterior correcció d'aquests.

- A més, el fet de fer un software més net i intel·ligible facilita la tasca de comprensió per als membres de temporades següents i dona més marge de millora per a propers vehicles.

Entrant, per acabar, en el disseny mecànic, cal dir que s'ha acomplert tots els objectius proposats d'es d'un principi. Aquests objectius s'expliquen a continuació:

- Tot el conjunt de la centraleta es veu perfectament integrat en la estructura del monocasc i, a més, ambdós mòduls són molt fàcils de muntar i desmuntar.

- S'ha comprovat que ambdues caixes són estanques i la comunicació entre elles a través de la mànega de cables no suposa cap problema.

Si bé el conjunt d'aquesta temporada compleix amb tots el objectius proposats, a l'entendre de l'autor d'aquesta memòria caldria modificar les futures línies de treball en trobar una manera de poder combinar els pros que ofereix el disseny actual amb els pros que oferien dissenys anteriors basats en una sola centraleta amb totes les funcions, com ara poder integrar una sola centraleta compacta per darrera del panell del monocasc i no ocupar espai per darrera del suport de direcció. Seguint el mètode de fabricació d'aquest any ens estalviem possibles fonts d'error com la connectivitat de la mànega de cables i assegurem un conjunt més compacte i possiblement amb un pes inferior.

En resum, es valora aquest projecte positivament, ja que totes les tasques proposades s'han arribat a complir i es pot disposar d'un dispositiu que ajuda al pilot a saber què esta passant en tot moment en el vehicle. El fet d'aplicar els coneixements adquirits durant la carrera i realitzar un projecte global que passa des de la concepció d'un prototip fins al disseny de PCBs i construcció de tot de conjunt ha suposat una experiència única en el decurs de l'etapa universitària.

Agraïments

Per acabar, m'agradaria dedicar unes paraules a totes aquelles persones que han ajudat a complir aquest projecte o simplement han estat al meu costat al llarg d'aquesta etapa.

Primerament, al professor Manuel Moreno Eguilaz, que no només com a tutor del projecte sinó com a tutor de la secció d'electrònica ha estat imprescindible per a que el projecte tirés endavant assessorant amb diverses idees que hem pogut acabar aplicant, i sobretot, corregint errors que havíem comès. Gràcies a en Manuel, la Dashboard d'aquest any és una realitat.

En aquestes paraules no hi podien faltar tos i cadascun dels integrants de l'equip ETSEIB Motorsport. No només d'aquest any, sinó també del passat. Tan bon punt vaig entrar a l'equip vaig entendre que per a que un projecte d'aquesta envergadura pogués fer-se realitat en tan poc temps, calia no només un bon equip de treball format per gent amb ganes de treballar, sinó un grup de gent ben avinguda que sàpigues fer-se costat en els moments difícils, així com celebrar els moments bons. És per això que en aquest dos anys, l'equip de Fórmula Student de la universitat ha estat pràcticament la meva família, i no podria estar més agraït ni més orgullós.

En especial, m'agradaria agrair a les persones que durant aquest any han format part del meu equip de treball més proper: la secció d'electrònica del CAT08e. A en Guifré Vendrell, que no podria haver estat un cap de secció millor, i als meus companys Pol Cabutí, Xavier Massot i Eulàlia Vidal. Gràcies a vosaltres venir a treballar al despatx durant aquest any ha sigut una de les millor experiències de la meva etapa com a estudiant. Quan vaig entrar a la secció no tenia pràcticament ni idea de què era una PCB i gràcies a tots vosaltres i el treball conjunt he pogut arribar a fer aquest projecte. També a en Dídac Magriñá per haver estat al meu costat ajudant-me cada cop que sorgia un problema o tenia un dubte. Les ganes de seguir implicat en aquest projecte, tot i ja no formar part de l'equip, han estat una ajuda inestimable per a mi.

Agrair també als meus pares i la meva germana, per tot el suport que m'han donat no només al llarg del projecte, sinó al llarg de la meva vida. Estic del tot segur que no hagués arribat fins aquí sense ells i no hi podria estar més agraït. També als meus amics Jacinto i Cristina, per aguantar les converses inacabables sobre els problemes del dia a dia de l'equip i del projecte. Sempre ajuda veure les coses des d'un altre punt de vista.

Per últim agrair a la direcció de l'escola i les empreses que han ajudat a fer possible el CAT08e. Sense una direcció tan implicada, no podríem fer ni la meitat de feina de la que fem. Disposem d'espai i de recursos per poder fer un cotxe i encoratjo a la direcció que segueixi formant part del projecte. Així mateix, les empreses que desinteressadament han aportat diners o material. Sense elles el projecte no hauria estat possible.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

[1] SERRAT I ORRI, J. *Disseny, construcció i validació d'un quadre de comandament adaptat a un vehicle de la Formula Student*, ETSEIB, 2013. [http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23954]

[2] PARLAMENT EUROPÉEN. *Directive 2002/95/CE relative à la limitation de l'utilisation de substances dangereuses dans les équipements elèctriques et electròniques.* Journal Officiel de l'Union Européen, Brussel·les, 1985.

[3] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *PIC 18F2480/2580/4480/4580 Data Sheet.* 2007 [http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39637c.pdf]

[4] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. *MCP2551 High Speed CAN Transceiver Data Sheet.* 2010. [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21667f.pdf]

[5] WINSTAR DISPLAT CO. LTD. *Module WH1602B2-TMI-ET Data Sheet* . 2009 [http://www.mouser.com/ds/2/272/-364177.pdf]

[6] LEMO INC. *F Series compact multipole connectors*. [http://www.lemo.com/catalog/ROW/UK_English/f_series.pdf]

Bibliografia complementària

[1] IBRAHIM, DOGAN. *Advanced PIC Microcontroller Projects in C.* Newnes, 2008.

[2] CASANOVA, ALEJANDRO. *Tutorial MPLAB C18.* Enigma Electrónica, 2010.

La bibliografia complementària esmentada prèviament s'ha utilitzat per adquirir una base en l'ús de l'entorn de programació MPLAB IDE i de consulta variada per a dubtes referents al llenguatge C de programació.

Annex

A. Plànols

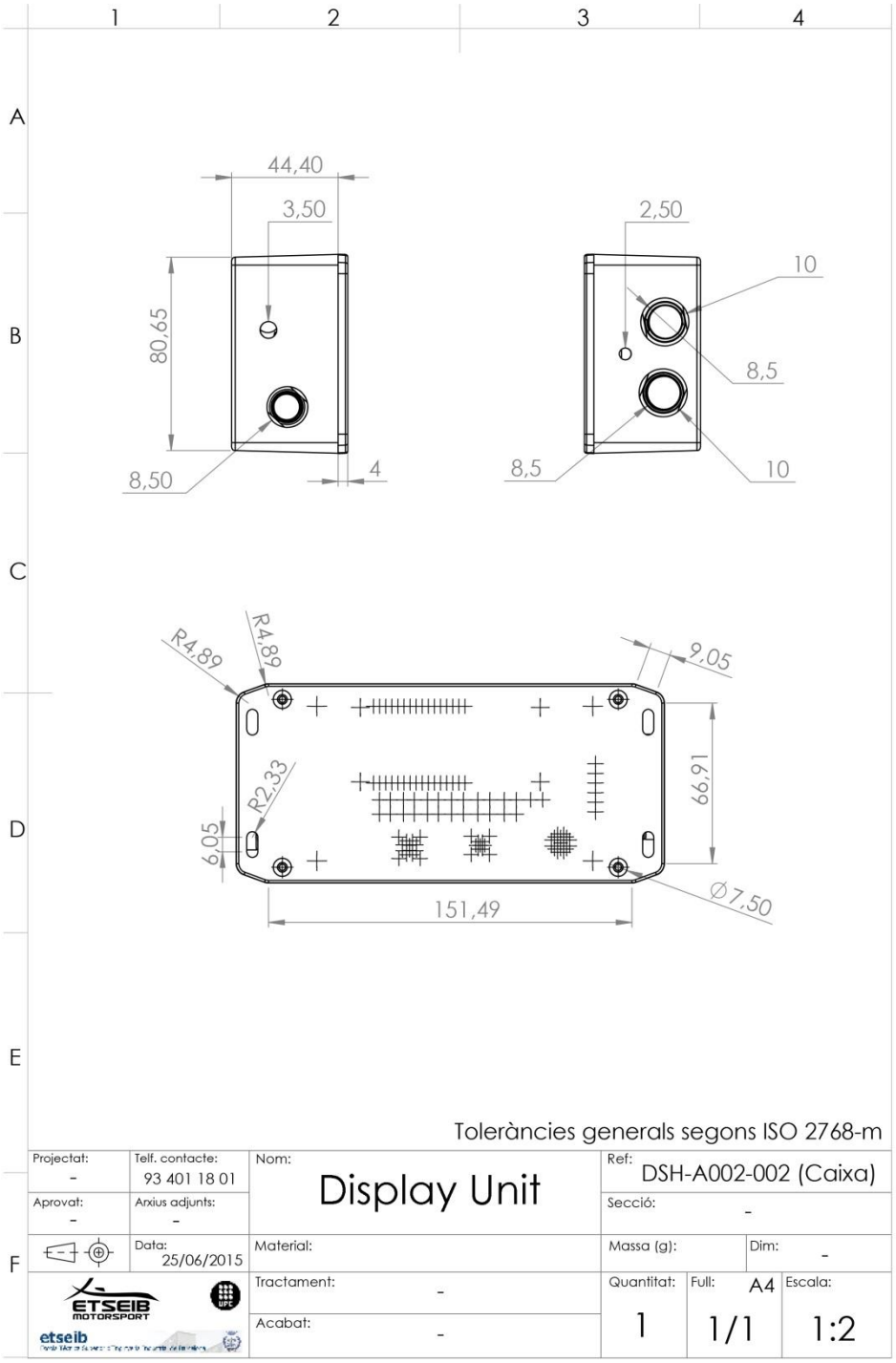

Figura A.1 Plànol de la centraleta de display del monoplaça. Font Pròpia.

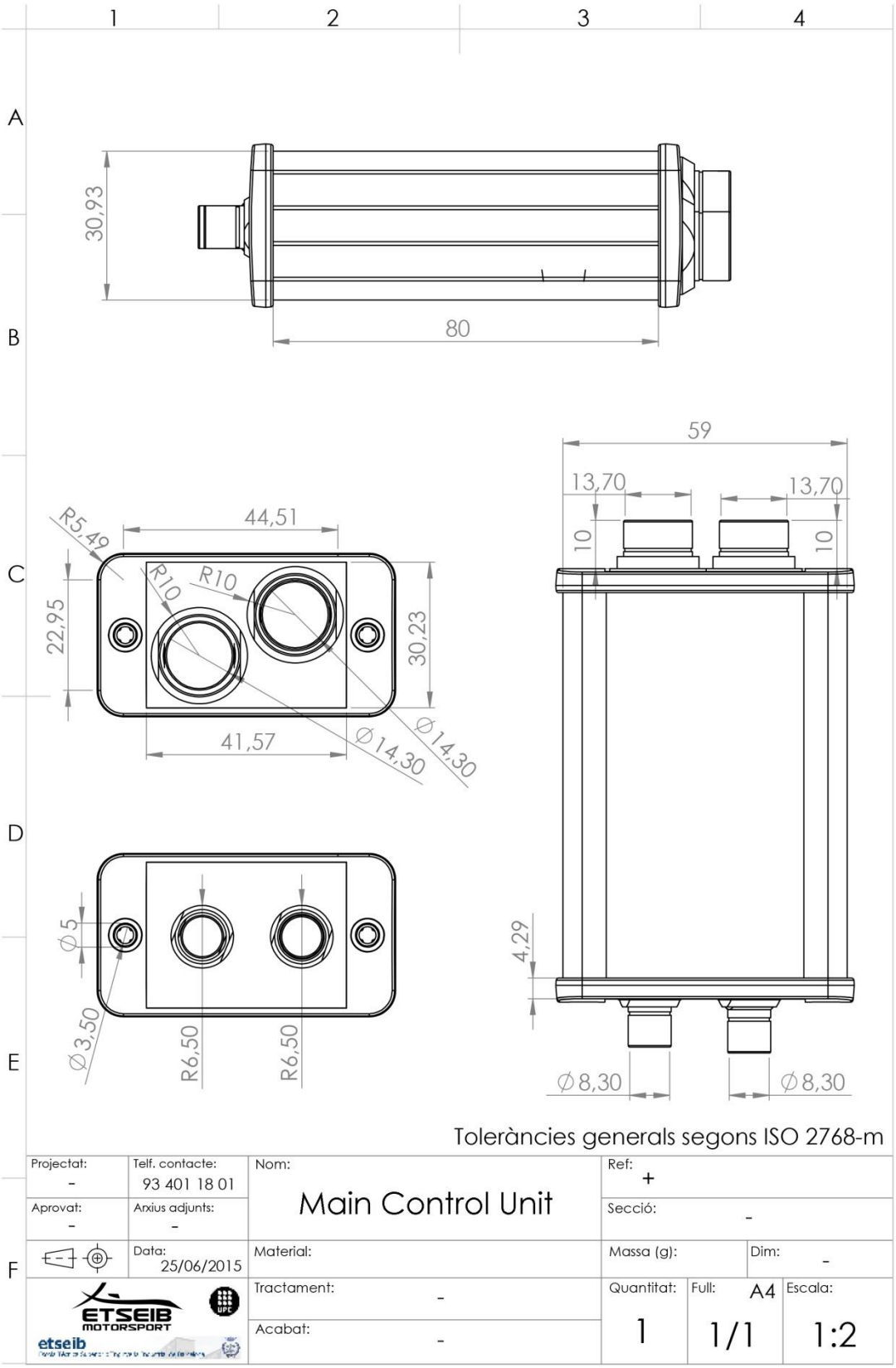

Figura A.2 Plànol de la centraleta de control del conjunt dashboard. Font pròpia.

B. Normativa FSAE

EV5.3.5 One shutdown button serves as a cockpit-mounted Master Switch. The minimum allowed diameter of the shutdown button in the cockpit is 24 mm. The international electrical symbol consisting of a red spark on a white-edged blue triangle must be affixed in close proximity to this switch. It must be located to provide easy actuation by the driver in an emergency or panic situation. It must be located within easy reach of the belted-in driver, alongside the steering wheel, and unobstructed by the steering wheel or any other part of the car.

Figura B.3 Normativa sobre la mida del shutdown button allotjat al cockpit del vehicle

EV2.3.5 If an implausibility occurs between the values of these two sensors the power to the motor(s) must be immediately shut down completely. It is not necessary to completely deactivate the tractive system, the motor controller(s) shutting down the power to the motor(s) is sufficient.

EV2.3.6 Implausibility is defined as a deviation of more than 10% pedal travel between the sensors.

Figura B.4 Normativa sobre el plausibility check i implausibility

EV3.6.7 The AMS must shutdown the tractive system by opening the AIRs, if critical voltage or temperature values according to the cell manufacturer's datasheet and taking into account the accuracy of the measurement system are detected. If the AMS does perform a shutdown then a red LED marked AMS must light up in the cockpit to confirm this.

NOTE: It is strongly recommended to monitor every cell temperature.

Figura B.5 Normativa referent als LEDs de BMS i IMD

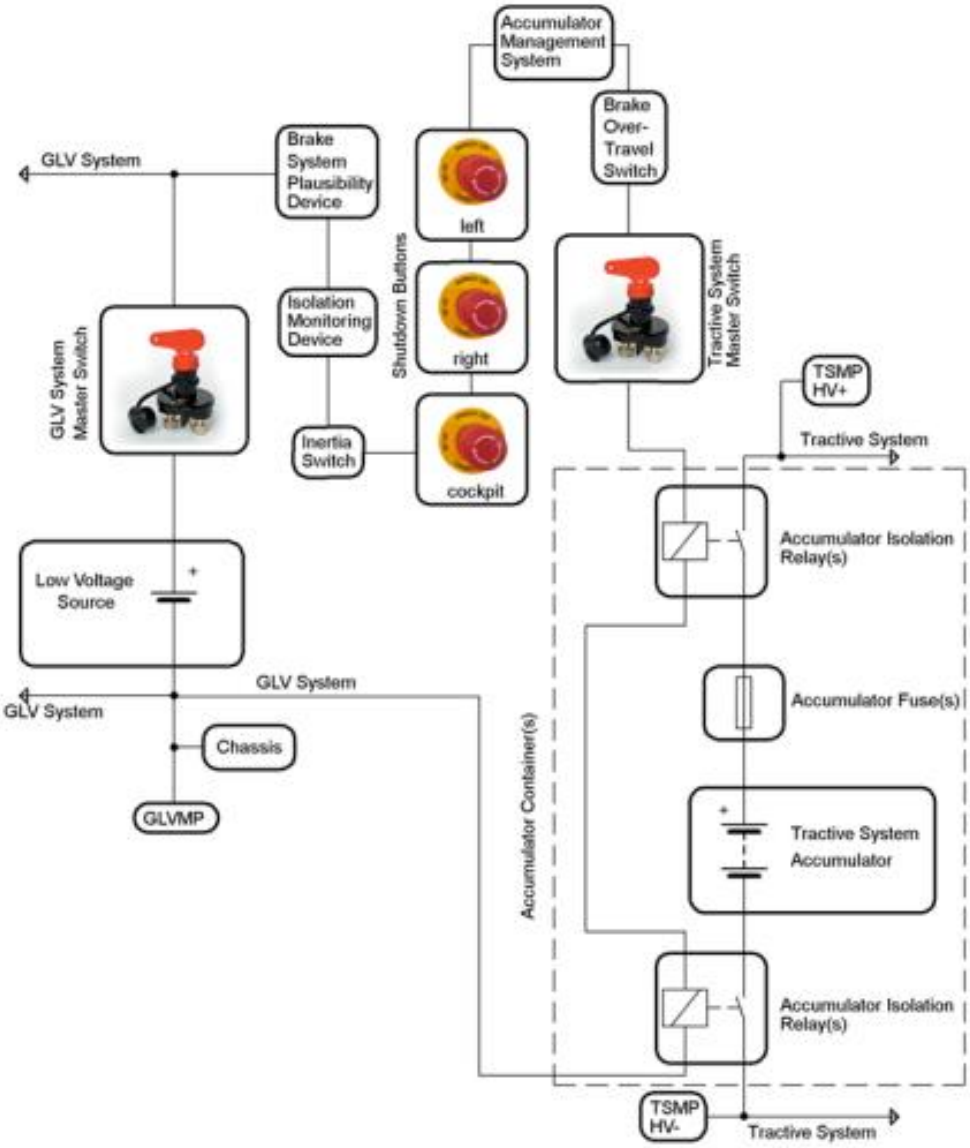

Figura B.6 Esquema del safety circuit d'un vehicle elèctric de FSAE