



FACULTAT
**DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA**
UVIC | UVIC·UCC



UTRON RACING TEAM

Treball de Fi de Grau de Desenvolupament

DESENVOLUPAMENT DEL SISTEMA DE TRACCIÓ I CIRCUIT DE SEGURETAT D'UN FORMULA STUDENT

ORIOI GARCÍA MARTÍN

**Doble Grau en Enginyeria Mecatrònica i Enginyeria Electrònica
Industrial i Automàtica**

Tutor/a: Joan Nicolás Apruzzese

Co-tutor: M. Àngels Crusellas Font i Moises Garín Escrivá

Vic, juny de 2021

Agraïments

Gràcies als actuals i antics companys de l'equip *UTRON Racing*, per l'oportunitat de poder entrar en un equip que ha acabat sent una família més enllà del projecte i la competició. I espero que aquesta peça pugui ajudar a continuar mantenint viu l'engranatge que mou aquest equip durant molts anys.

Agrair a tots els involucrats de *QEV Technologies* i *Q3D Composites*, per donar-nos la nostra "segona oportunitat" i poder crear una bona base la primera temporada, i garantir el futur de l'equip i els seus èxits, sent molt més que un col·laborador de l'equip. Gràcies Rubén Espín, Javier Martín, Javier Hijano i Andrés Castillo.

I per últim, i no menys important, gràcies als meus pares i familiars, "pels que van ser, pels que són i pels que vindran", per acompanyar-me i donar-me tot el suport necessari en aquesta etapa de la vida, que amb aquest treball finalitza per donar inici a una nova.

Resum

Títol: *Desenvolupament del sistema de tracció i circuit de seguretat d'un Formula Student*

Autor: Oriol García Martín

Co-Tutors: Joan Nicolás Apruzzese, M. Àngels Crusellas Font i Moises Garín Escrivá

Data: Juny de 2021

Paraules clau: formula student, electrònica de potència, automoció, electrònica analògica

Aquest projecte consisteix en realitzar el disseny i implementació del sistema elèctric de tracció i el seu corresponent sistema de seguretat per a un vehicle de competició, el qual requereix que compleixi els punts especificats de la normativa de la *Formula Student Competition*, per la qual es regeix l'esdeveniment de *Formula Student Spain*, on aquest vehicle participarà en nom de *UTRON Racing Team* a l'agost. Basant-se en el motor i controladora definits prèviament per l'equip, es realitza el modelatge i càlcul del acumulador de bateries que alimenten a la controladora, i aquesta al motor. Per garantir la seguretat d'aquest sistema, s'implementa un circuit mixt analògic i programable, el qual ha de ser dissenyat, testejat i implementat dintre de l'estructura del vehicle.

Aquesta combinació permet gaudir d'un sistema de tracció completament funcional, el qual encara falta acoblar-ho al xassís del prototip, però es compleix amb la fita interna de l'equip, de tenir el sistema de tracció funcional abans del mes de juliol.

Vídeo resum: <https://youtu.be/pjNP7MwYrMI>

Summary

Title: *Development of the Tractive System and Security Circuit of a Formula Student car*

Author: Oriol García Martín

Supervisor: Joan Nicolás Apruzzese, M. Àngels Crusellas Font and Moises Garín Escrivá

Date: June 2021

Keywords: formula student, power electronics, automotion, analog electronics

This project consists in the design and implementation of the electric traction system and its corresponding security system for a competition vehicle, which require the completion of the specified points of the *Formula Student Competition* regulations, for which the *Formula Student Spain* event is held, where this vehicle will participate on behalf of the *UTRON Racing Team* at August. Based on the engine and inverter previously defined by the team, we carry out the modelling and calculation of the battery accumulator that feed the controller and the engine. To guarantee the safety of this system, a mixed analogue and programmable circuit is implemented, which have to be designed, tested and implemented inside the structure of the vehicle.

This combination makes it possible to enjoy a fully funcional traction system, which still needs to be assembled to the prototype, but it is completed with the internal target of the team to have a funcional traction system by July.

Summary video: <https://youtu.be/pjNP7MwYrMI>

Índex de Continguts

1. Introducció	1
2. Objectius	3
3. Desenvolupament del projecte	4
3.1. Requeriments	4
3.2. Càlculs previs per la selecció de cel·les	8
3.3. Disseny de l'acumulador de les bateries.....	12
3.3.1. Acumulador	12
3.3.2. Carregador de les cel·les	18
3.4. Disseny del circuit de seguretat	20
3.4.1. Sistema d'activació del prototip (Ready to Drive).....	22
3.4.2. Pedaler i dispositiu de plausibilitat del sistema de frens (BSPD)	23
3.4.3. Circuit de precàrrega i descàrrega de la controladora	26
3.4.4. Llum d'activació del sistema de tracció (TSAL)	28
3.4.5. Dispositiu de monitorització d'aïllament (IMD).....	31
3.4.6. Interruptors del sistema	32
4. Proves, resultats i discussions	34
4.1. Motor elèctric	34
4.2. Circuit del sistema RTD	39
4.3. Circuit del sistema de plausibilitat del sistema de fre (BSPD).....	41
4.4. Sistema de gestió de les bateries.....	43
5. Conclusió	46
5.1. Limitacions i millores a realitzar en projectes futurs	47
6. Bibliografia	49
Annex A. Dades tècniques del motor elèctric EMRAX 228 MV	i
Annex B. Dades tècniques de la controladora electrònica Cascadia PM100DX	ii
Annex C. Normativa tècnica de l'acumulador de les bateries	iii
Annex D. Dades tècniques de la cel·la Electric Power de HK Mingda	ii
Annex E. Normativa respecte al circuit de seguretat i subsistemes	iii
Annex F. Electrical System Form entregat a l'organització de FSS	i
Annex G. Propietats mecàniques de l'espuma de melamina	i
Annex H. Dades tècniques del relé d'aïllament KILOVAC	i
Annex I. Dades tècniques del fusible 250FM	i
Annex J. Taula amb especificacions de l'acumulador de cel·les	i

Annex K. Codi de la lògica programable del sistema RTD	i
Annex L. Inputs a la simulació de la prova d'Acceleration	i

Llista de Taules

Taula 1.- Comparativa entre les diverses cel·les proposades per alimentar el tren de potencia. 10

Llista de Figures

Figura 1.- Imatges del motor elèctric EMRAX 228 MV	5
Figura 2.- Gràfic comparador del parell del motor amb la intensitat de quadratura	5
Figura 3.- Controladora electrònica Cascadia PM100DX	6
Figura 4.- Vista lateral de la distribució dels components del tren de potencia sense l'acumulador de les bateries	7
Figura 5.- Vista trasera de la distribució dels components del tren de potencia sense l'acumulador de les bateries.....	7
Figura 6.- Comparativa components químics de les bateries en pes i mides respecte a l'energia i potencia específica	9
Figura 7.- Exemple aclaridor de l'esquema requerit pel circuit de seguretat de la normativa SAE	11
Figura 8.- Comprovació de la resistència elèctrica de l'espuma de melanima.....	13
Figura 9.- Diagrama elèctric de les connexions entre cel·les.....	14
Figura 10.- Connexió mecànica entre cel·les (CAD i imatge real).....	14
Figura 11.- Caixes estanques dintre de la primera versió de l'acumulador	15
Figura 12.- Ventiladors instal·lats a l'acumulador	16
Figura 13.- Vista d'amunt de la circulació d'aire simulada amb el programa ANSYS	17
Figura 14.- Carregador de l'acumulador de les bateries	19
Figura 15.- Esquema elèctric del circuit d'auto-apagat del carregador	19
Figura 16.- Esquema elèctric del circuit de seguretat	21
Figura 17.- Esquema elèctric del sistema d'activació del vehicle	23
Figura 18.- Carcassa protectora dels elements i Arduino situats al dashboard.....	23
Figura 19.- Pedaler del vehicle.....	24
Figura 20.- Esquema elèctric del sistema de plausibilitat del sistema de fre	25
Figura 21.- Model 3D de la placa del BSPD i IMD	26
Figura 22.- Esquema elèctric del circuit de precàrrega i descàrrega.....	27
Figura 23.- Esquema elèctric de la llum d'activació del sistema de tracció TSAL.....	29
Figura 24.- Localització de la TSAL al Main Hoop	30
Figura 25.- Suport de la carcassa de la llum TSAL, model 407 dels pilots d'ArcoL	30
Figura 26.- Aplicació típica de la placa Bender IR-155.....	31
Figura 27.- HVD i interruptors màster situats al lateral.....	33
Figura 28.- Botó d'emergència situat al dashboard	33
Figura 29.- Gràfica del rendiment del motor proporcionada pel fabricant EMRAX.....	34
Figura 30.- Zona de subjecció del motor del banc de proves de QEV.....	35
Figura 31.- Accessori adjunt al banc de proves per simulacions realistes del motor.....	35
Figura 32.- Gràfica de potencia i parell del motor al banc de proves	36
Figura 33.- Gràfica de l'acceleració i forces G simulades del nostre prototip	37
Figura 34.- Gràfic de la força exercida a la simulació de la prova d'Acceleration	38
Figura 35.- Pantalla del dashboard.....	39
Figura 36.- Circuit aïllat del sistema d'activació del prototip	40
Figura 37.- Distribució components del dashboard	40

Figura 38.- Simulació del circuit del BSPD sense forçar un error	41
Figura 39.- Simulació del circuit del BSPD forçant un error	42
Figura 40.- Placa del BSPD i reset de l'IMD.....	42
Figura 41.- Test de la placa BMS amb sis cel·les	43
Figura 42.- Vista del programa GUI emprat per la simulació del BMS	44
Figura 43.- Mesura del voltatge que circula per les cel·les obtingut amb CAN	44
Figura 44.- Referència visual de la placa	45

1. Introducció

El món està cada cop més conscienciat sobre la situació que patim actualment. En aquestes circumstàncies la gent pren consciència de la importància que suposa protegir el medi ambient. Els governs han aprovat noves normatives que afecten als motors de combustió interna, i aquest fet ha suposat que empreses del sector de l'automòbil centrin més esforços en l'electrificació del sector.

I això no només succeeix a la indústria de l'automoció, també el *Motorsport* i les competicions s'estan adaptant a aquesta nova realitat. Noves competicions com la *Formula-E* o la *e-TCR* (competició de cotxes turisme elèctrics), han sorgit per donar una empenta a aquesta investigació en els vehicles elèctrics, i la *Formula Student*, no s'ha quedat enrere, ja que no només tenen una categoria per vehicles elèctrics, sinó que a més, estant centrant el futur de la competició a ajudar als equips a entrar a la categoria de vehicles elèctrics autònoms.

La *Formula Student* és una competició internacional que, en la recerca de l'excel·lència de l'enginyeria, desafia als estudiants universitaris a dissenyar, fabricar i conduir un monoplaça de competició. Desenes d'equips d'arreu del món es reuneixen cada any per competir, com la que es celebra al Circuit de Barcelona-Catalunya, de la mà de l'organització de *Formula Student Spain*. La competició es divideix en tres categories: CV (vehicles de combustió), EV (vehicles elèctrics) i DV (vehicles autònoms). Cada categoria té dues proves a superar: les proves dinàmiques i les proves estàtiques.

Les proves estàtiques consten de tres esdeveniments en els que els equips defensen el disseny, la documentació i les decisions preses al llarg de la temporada:

- *Business Plan Presentation*: l'equip ha de presentar un pla de negocis que demostrï el compliment de la demanda de clients i que la producció i el màrqueting generen benefici.
- *Cost & Manufacturing*: l'equip ha d'entregar un document que justifiqui el cost dels materials i de la construcció del monoplaça.
- *Engineering Design*: es presenta un document on es descriuen totes les solucions tecnològiques aplicades al monoplaça, i les seves avantatges.

Les proves dinàmiques consten de cinc reptes que ha de intentar superar el vehicle:

- *Acceleration*: el vehicle ha d'accelerar partint d'un estat de repòs i recórrer 75 metres en el menor temps possible. Hi ha un total de 4 intents a realitzar pels 2 pilots de l'equip (2 intents cada pilot).
- *Autocross*: el vehicle ha de recórrer una volta al circuit en el menor temps. Hi ha un total de 4 intents a realitzar pels 2 pilots de l'equip (2 intents cada pilot)
- *Endurance*: el vehicle ha de demostrar el seu rendiment durant 22 kilòmetres en el mateix circuit de l'*Autocross*, posant a prova l'acceleració, velocitat, maniobrabilitat, frenada, consum i

fiabilitat. A l'arribar als 11 kilòmetres, el vehicle ha de canviar de pilot (pit stop) i aquest ha de pilotar els 11 kilòmetres restants.

- *Efficiency*: premia el baix consum d'energia durant l'*Endurance*.

- *Skidpad*: el vehicle ha de recórrer un circuit en forma de "8" per demostrar el rendiment del vehicle en corba i posar a prova el xassís, suspensió i aerodinàmica. Hi ha un total de 4 intents a realitzar pels 2 pilots de l'equip (2 intents cada pilot)..

Aquestes últimes proves, només es realitzen si els equips passen amb èxit les inspeccions tècniques, on enginyers especialistes en la matèria, verifiquen que el vehicle compleix la normativa i és segur de pilotar.

L'equip de la Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya (UVic-UCC) és l'*UTRON Racing*, el qual es va fundar el gener de 2019 per alguns alumnes del grau d'Enginyeria de l'Automoció. L'equip ha anat creixent en el decurs dels darrers 2 anys, i ha anat incorporant estudiants d'altres àmbits de l'enginyeria. L'equip participarà per primer cop a la edició de 2021 de la *Formula Student Spain*. La filosofia de l'equip es centra en un mètode de treball senzill, robust i fiable, on el principal objectiu és arribar a un vehicle funcional, amb la intenció de que en els propers anys, els estudiants participants tinguin una bona base de partida, per tal d'assegurar l'existència de l'equip durant molts anys.

Aquest projecte pretén desenvolupar el tren de potencia del prototip del vehicle de l'equip de Formula Student de la UVic-UCC que participarà en la competició aquest agost. També es pretén que el projecte constitueixi una font d'informació de primera mà, a la qual puguin recórrer les següents generacions d'estudiants que participin en properes edicions de la competició.

El procés pel qual s'ha passat per obtenir els resultats exposats, ha resultat fruit d'una inversió ingent d'hores per tal de poder acabar amb un vehicle funcional aquesta temporada, quan al començar-la no es tenia res fet encara. Per tant, aquest informe juntament amb la feina feta en el sistema de tracció del vehicle, servirà per aplanar aquest camí als futurs estudiants, i a la vegada, unes conclusions i pautes de millora en un futur les quals serveixin per establir el seguiment d'aquest projecte.

Treballs com aquest se'n poden trobar molts, és un procés habitual a seguir que la majoria d'estudiants que participen a un equip de *Formula Student*, aprofitin el seu Treball de Fi de Grau per poder deixar aquest coneixement dintre la universitat, però sobretot, dintre de l'equip. El fet que fa aquest projecte diferent de la resta, és la base de la qual es parteix i que són diferents les necessitats d'un equip novell que no pas les que necessiten un equip ja amb anys d'experiència i que volen millorar el seu primer prototip.

2. Objectius

El principal objectiu personal d'aquest treball consisteix en arribar a la competició amb un vehicle funcional, i centrant-nos en aquest treball en específic, que el tren de potencia funcioni de forma segura, estigui tot el sistema muntat al xassís o no. Dit això, per obtenir aquest objectiu caldrà que es compleixin els següents punts:

- Disseny i fabricació de l'acumulador de bateries per poder alimentar al motor i controladora del vehicle.
- Assegurar la legalitat, seguretat i funcionament del sistema de tracció a través de la normativa de *Formula Student Spain*.
- Disseny i fabricació del circuit de seguretat del vehicle.
- Disseny i fabricació del sistema de gestió de les bateries, així com les futures línies de treball per la seva millora.

3. Desenvolupament del projecte

En aquest apartat, s'explica el format en que la memòria ha sigut redactada. Primerament, els punts que limiten el projecte, són exposats per determinar de quin punt parteix el treball realitzat. A continuació, es mostren càlculs i anàlisis dels components seleccionats per implementar al sistema de tracció del *Formula Student* i el seu circuit de seguretat. El disseny de la proposta ha sigut dividida en dos parts. La primera part mostra el treball realitzat per crear l'acumulador de les bateries que alimenta a la controladora electrònica i al motor que formen el tren de potencia. La segona part mostra la realització del circuit de seguretat del tren de potencia, i com s'ha construït per poder complir amb la normativa establerta per la competició. Com el circuit de seguretat compta amb molts components que intervenen, la memòria divideix el circuit en diversos subapartats, per facilitar l'aclariment de quina funció compleix cada punt del circuit. Seguidament, les proves realitzades amb el circuit de seguretat i el sistema de tracció, seran exposades i comentades, per tal de discutir els resultats obtinguts. Això, ens donarà peu a les conclusions del treball, on a nivell personal, es revisarà el compliment dels diversos punts marcats com objectius.

És important destacar que la competició de la *Formula Student* es disputa del 2 al 8 d'agost de 2021, fet que ha causat que al moment de la defensa d'aquesta memòria, o en el mateix moment de desenvolupar-la, encara no es trobi el sistema de tracció muntat al xassís del vehicle per ficar-ho a prova, o alguns punts del treball encara estiguin per definir.

3.1. Requeriments

En aquest capítol s'exposaran tots els requeriments obligatoris corresponents a la normativa SAE (*Society of Automotive Engineers*) que han de complir el sistema de tracció i el de seguretat elèctrica.

Dintre del primer apartat del treball, l'acumulador de les bateries vindrà marcat, primer de tot, per l'obligació d'adaptar-se al motor i la controladora electrònica. Respecte al sistema de tracció, la normativa només especifica que el motor elèctric no pot entregar més de 80 kW de potencia. Per tant, després d'un període de recerca en el mercat, es decideix seleccionar el model 228 MV de la marca eslovena *EMRAX* (veure figura 1, dades tècniques a l'[Annex A](#)) i la controladora *Cascadia PM100DX* (veure dades tècniques a l'[Annex B](#)). A part, la normativa estipula uns punts tècnics específics respecte a la configuració mecànica i electrònica de l'acumulador de les bateries, tal com es mostra a l'[Annex C](#).

Aquesta decisió de components (motor i controladora) ve donada per la senzillesa a l'hora de treballar amb ells, i a part, fent recerca de quins motors utilitzen altres equips, es veu que la gran majoria d'equips que s'inicien a la categoria elèctrica de la *Formula Student*, utilitzen aquest motor i aquesta controladora. Per tant, es procedeix a definir-los per conèixer amb quins components es treballen.

El motor *EMRAX 228* és un motor de corrent continu sense escobretes o *brushless DC*. Dintre de les opcions del mercat, cal destacar la seva avantatge respecte a altres motors d'inducció, degut a la bona relació que presenta entre la potència i el pes, i a més, el seu control electrònic no és massa complex. En el *datasheet* observem que la potència pic és superior a la que està establerta per la normativa, però hi ha l'opció de no sobrepassar els 80 kW establerts a través del software de la controladora electrònica. El sistema de transmissió entre el motor i les rodes es realitza mitjançant un pinyó col·locat a l'eix del motor i una corona col·locada a l'eix posterior i connectades entre si per una cadena d'acer.



Figura 1.- Imatges del motor elèctric EMRAX 228 MV

Es pot analitzar el comportament del motor, a través dels gràfics disponibles al *datasheet*. L'avantatge més conegut d'aquest tipus de motors, és que el parell és pràcticament constant de 0 al màxim de velocitat. Això es deu, a que el sistema de control de la controladora electrònica fa que el camp magnètic de l'estator sigui sempre el màxim. Aquest control mencionant prèviament, va de la mà de la intensitat de quadratura. Aquesta és l'encarregada d'assegurar que el camp magnètic en els bobinats de l'estator sigui sempre el màxim, i poder aconseguir el parell requerit en cada moment. A la figura 2, es pot observar la relació de la intensitat de la quadratura amb el parell del motor:

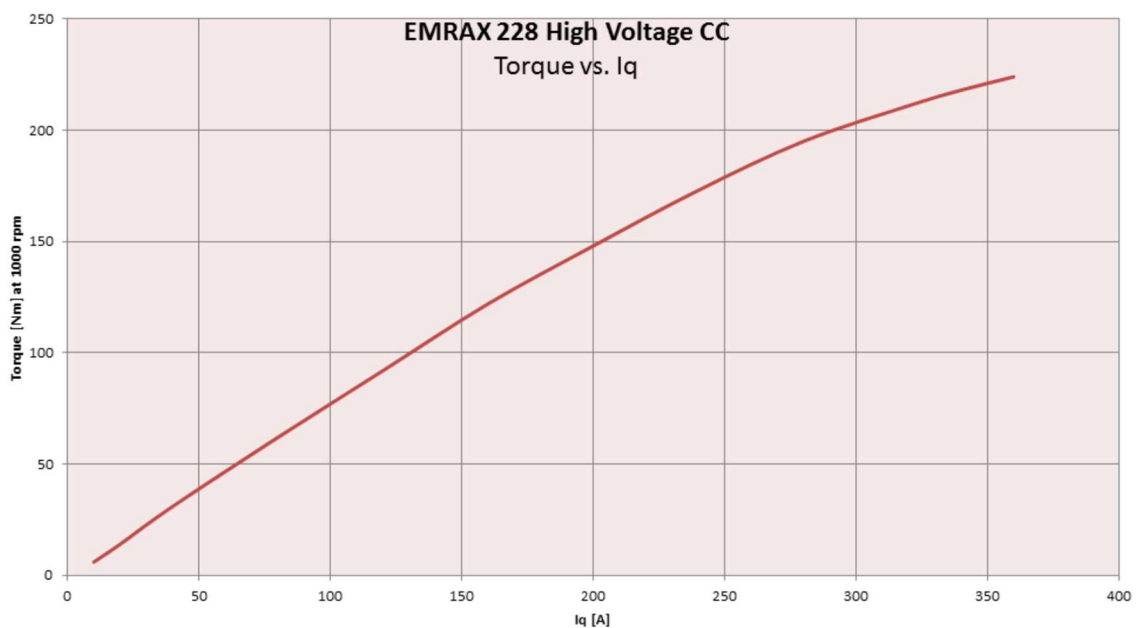


Figura 2.- Gràfic comparador del parell del motor amb la intensitat de quadratura

Parlant de la importància d'aquest aspecte mencionat prèviament, es pot aclarir amb el següent exemple. A la prova d'acceleració, a la sortida volem que el motor no proporcioni tot el parell màxim, ja que faria patinar les rodes i no es podria controlar el vehicle. Amb el software de la controladora, en aquest cas, es parametriza una rampa per aconseguir una sortida suau i anar augmentant progressivament al llarg de la recta.

La controladora electrònica *Cascadia PM100DX* (veure figura 3) consisteix en un inversor de potència, el qual s'encarrega de convertir el corrent continu que li arriba de les bateries en el corrent altern necessari per controlar el motor. Aquest és un component primordial pel prototip, ja que com s'utilitza un motor *brushless*, és necessària aquesta controladora, cosa que no passaria si s'emprés un motor amb escombretes. Aquest component no disposa de cap tipus de limitació de la normativa, a diferència del que succeeix amb el motor i les bateries, però li afecten indirectament, ja que aquesta s'ha d'adaptar als requeriments de la resta. Aquesta controladora està formada per diferents microprocessadors i l'electrònica de potència que fa possible les variacions de velocitats del motor. El software per programar-la, *Rinehart RMS*, té molts modes de programació. Hi ha el programa bàsic, on amb entrar-li només alguns paràmetres del motor, s'apliquen les constants del fabricant de la controladora per obtenir un bon resultat conservador. Pels més experts, hi ha programacions complexes que utilitzen algorismes de control per poder exigir el màxim al motor.



Figura 3.- Controladora electrònica Cascadia PM100DX

Aquesta composició de components, fa que l'espai disponible en el xassís es trobi limitat. La distribució de components, que no conté assemblet encara l'acumulador, és el que es pot veure en les figures 4 i 5:

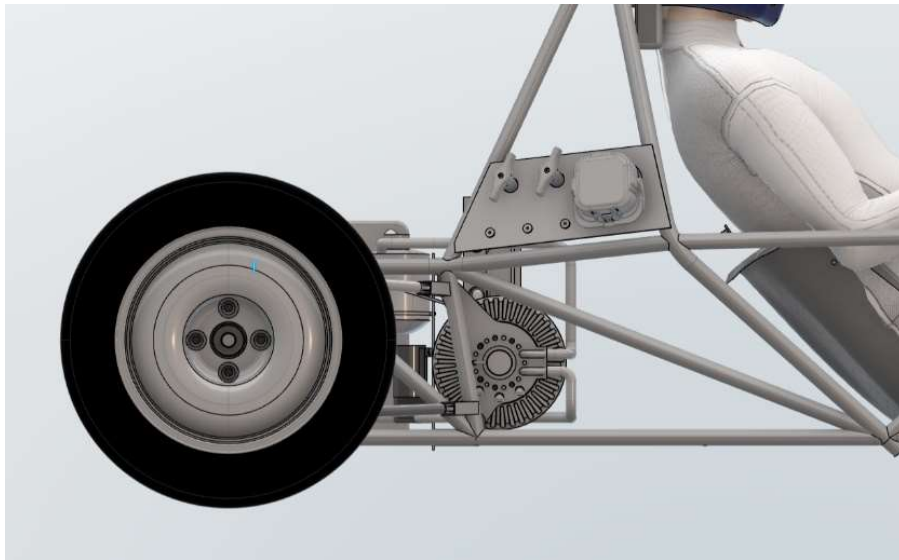


Figura 4.- Vista lateral de la distribució dels components del tren de potencia sense l'acumulador de les bateries

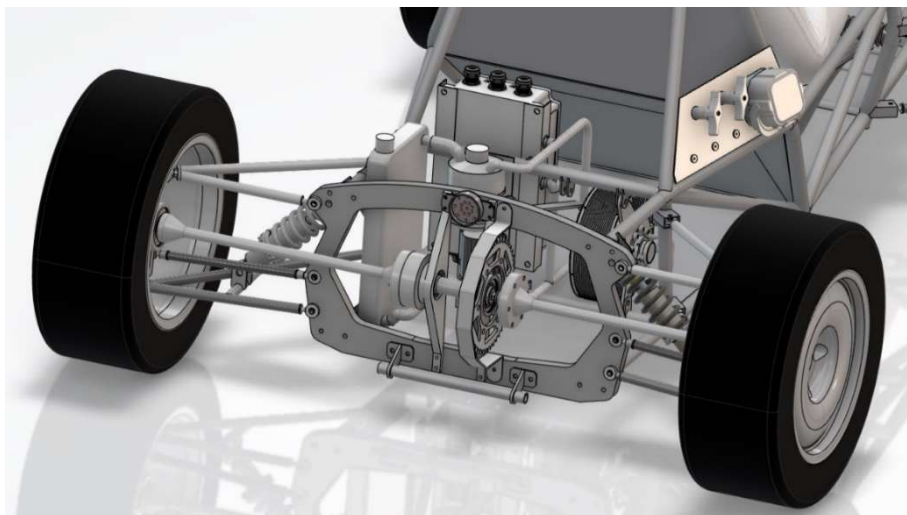


Figura 5.- Vista trasera de la distribució dels components del tren de potencia sense l'acumulador de les bateries

S'hi pot observar que tant el motor com la controladora estan al límit del segon quadrant del terra del xassís, deixant casi tot l'espai del primer quadrant del terra del xassís per l'acumulador de les bateries. A més la inclinació del *firewall* que aïlla tots els components elèctrics de la zona on es situa el pilot, fa que hi hagi bastant espai desaprofitat. Per tant, el nostre acumulador ha d'adaptar-se a l'espai lliure del prototip.

3.2. Càlculs previs per la selecció de cel·les

Com ja s'ha comentat prèviament, cal adaptar degudament la font d'alimentació necessària pel model de motor i controladora especificades. A l'apartat d'informació tècnica del motor, el fabricant recomana calcular el voltatge necessari amb la relació de 18 RPM/1 VDC que simularia una càrrega sencera del motor. Addicionalment, mitjançant recomanacions directes de tècnics d'EMRAX, es decideix no sobrepassar les 5760 RPM màximes que estableix el manual del fabrica. Per tant, s'utilitza un factor de seguretat de 0,87, establert per decisió pròpia, per calcular el màxim nombre de revolucions per minut a les que arribarà el motor:

$$RPM \text{ del motor} = RPM \text{ màximas} * \text{factor de seguretat}$$

$$RPM \text{ del motor} = 5760 * 0.87$$

$$RPM \text{ del motor} = 5012$$

Ara que es sap el màxim de revolucions que assolirà el motor, es pot procedir a calcular el voltatge màxim del conjunt de bateries:

$$\text{Voltatge de la bateria} = \frac{RPM \text{ del motor}}{18 \frac{RPM}{1VDC}}$$

$$\text{Voltatge de la bateria} = \frac{5012 RPM}{18 \frac{RPM}{1VDC}}$$

$$\text{Voltatge de la bateria} = 279 VDC$$

Un últim factor determinant a tenir en compte, consisteix en la capacitat energètica de les bateries. Per estimar aquest valor, l'empresa QEV Technologies va fer el càlcul de l'energia que necessitaria el prototip per fer una volta en el circuit de la competició de la Formula Student Spain. Els resultats que es van obtenir era que el cotxe consumiria aproximadament 868,49 kJ en una volta. Això implicaria que per assolir amb èxit la prova més exigent respecte a l'autonomia del prototip, la d'*Endurance* (donar 22 voltes al circuit d'*Autocross* d'un 1 km), es necessitaria una energia màxima d'aproximadament 18962,9 kJ, o el que seria el mateix, 5,37 kWh. Per tal d'assegurar la capacitat del vehicle, es multiplica aquest valor per un factor de seguretat de 1,4, de forma que caldrà dissenyar un acumulador de bateries amb un voltatge de 279 V i 7,3 kWh de capacitat energètica. Es decideix optar per aquest factor de seguretat, per recomanació dels enginyers de l'empresa de *QEV Technologies* que ens van facilitar aquests càlculs, ja que ells mateixos utilitzen aquest factor pels seus projectes.

El valor del voltatge vindrà determinat per la quantitat de cel·les que conformin l'acumulador, i pel voltatge nominal d'aquestes. En canvi, la capacitat energètica, dependrà del seu contingut, i per tant, cal buscar una composició que emmagatzemi el màxim d'energia en la menor massa possible sense excedir el pressupost del que disposa l'equip. Buscant informació al respecte, es troba el següent gràfic del treball "*Identification of Lithium-Ion-Cell Physics-Model parameter*

values" d'en Ryan R. Jobman, on s'exposa la relació entre el tipus de contingut de les cel·les i la densitat d'aquestes (veure figura 6).

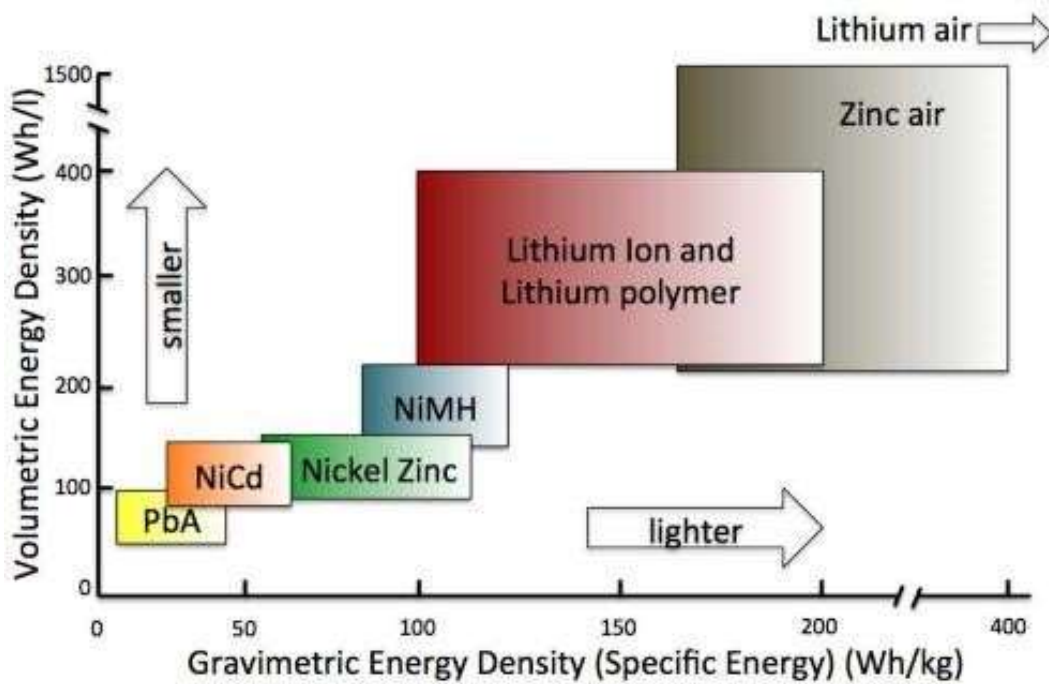


Figura 6.- Comparativa components químics de les bateries en pes i mides respecte a l'energia i potencia específica

A la figura 6, s'observa que l'opció més equilibrada, i a la vegada la més emprada pels equips de Formula Student de la disciplina elèctrica d'arreu del món, són les cel·les d'ió-liti. Les cel·les d'ió-liti són les més lleugeres i petites que es poden trobar en el mercat i es caracteritzen perquè poden subministrar la capacitat energètica que requereix un vehicle amb aquest tipus d'autonomia, i a més són fàcils de trobar en el mercat de les bateries especialitzades per a vehicles elèctrics. L'opció ideal serien dipòsits de zinc-aire o liti-aire, però la normativa ho prohibeix i seria l'opció més costosa mostrada en el gràfic.

Un cop decidí els tipus de cel·les, cal calcular la capacitat nominal que necessita el sistema, i així poder filtrar les diverses opcions del mercat:

$$Capacitat\ nominal = \frac{Energia\ màxima\ necessària}{Voltatge\ màxim\ del\ motor}$$

$$Capacitat\ nominal = \frac{7300\ Wh}{320\ VDC}$$

$$Capacitat\ nominal = 22,81\ Ah$$

Tenint en compte la restricció del pressupost que l'equip podia assumir, es consideren un total de 4 distribuïdors que compleixen la capacitat nominal establerta, i que el cost total de les cel·les més enviaments és assumible. A la taula 1 es mostra la comparativa de les característiques de les cel·les dels 4 distribuïdors.

Taula 1.- Comparativa entre les diverses cel·les proposades per alimentar el tren de potencia

Model de cel·les	Pes (g)	Dim. (mm)	Voltatge (V)			Capacitat (Ah)	Potència Específica (W/kg)	Energia Específica (Wh/kg)	Preu (€)
			Min.	Nom.	Màx.				
A123 AMP	496	7,25 x 227 x 160	2,8	3,3	3,8	20	2400	131	75
HK Mingda	433	11,6 x 191 x 90,5	3,0	3,7	4,2	22	3760	188	75
EIG C020	428	7,2 x 217 x 226	3,0	3,65	4,15	20	2300	174	75 + acces
Kokam SLP86	600	6,3 x 227 x 226	2,7	4,2	4,2	25	Ns/nc	154	90

Finalment, per motius de patrocini i per què s'adapta millor a les nostres necessitats, va optar per unes cel·les *Electric Power* de 22 Ah (veure dades tècniques a l'[Annex D](#)) que distribueix la marca xinesa *Hong Kong Mingda*. Com s'aprecia a la taula 1, malgrat no ser la més lleugera ni la més petita en quant a les dimensions, destaca notablement en potencia i energia específica. La potencia específica mostra el rendiment de les cel·les, i les cel·les escollides destaquen per ser les que més potencia entreguen amb el menor nombre de cel·les, i això permet compensar que siguin una mica més grans que la resta. A més, és la única que compleix la energia específica necessària, dona la quantitat necessària per poder cobrir els 7,3 kWh.

Un cop escollit el model de cel·les, es procedeix al càlcul de la quantitat de cel·les que necessitarà el sistema de tracció i del nombre de mòduls que ocuparan dins de l'acumulador de les cel·les. La normativa marca que cada mòdul de bateries ha de suplir un voltatge màxim del 120 VDC o com a màxim, una energia específica de 6 MJ. El càlcul de la quantitat de cel·les ve donada per la següent equació:

$$\text{Nombre de cel} \cdot \text{les} = \frac{\text{Voltatge màxim del motor}}{\text{Voltatge nominal de la cel} \cdot \text{la}}$$

$$\text{Nombre de cel} \cdot \text{les} = \frac{7300 \text{ Wh}}{320 \text{ VDC}}$$

$$\text{Nombre de cel} \cdot \text{les} = 96$$

Sabent que hi hauran 96 cel·les, es dividiran en 6 mòduls de 16 cel·les, i així s'assegura el compliment dels requeriments de voltatge màxim dels mòduls de 120 VDC (59,2 VDC en 16 cel·les, ja que el seu voltatge nominal són 3,7 VDC) i que no sobrepassa els 6 MJ (4,69 MJ en 16 cel·les, ja que la seva capacitat específica són 188 Wh/kg). A més una repartició equitativa de cel·les pot estalviar problemes en la gestió de les bateries en un futur.

Per poder garantir el bon estat i el correcte funcionament dels elements que conformen el tren de potencia, s'especifica, en primer lloc, les diverses parts de les que consta el sistema de seguretat elèctric del prototip del *Formula Student*. El sistema de seguretat ha de complir els

diversos apartats de la normativa de la competició, la qual suposa un avantatge per poder garantir la seguretat dels pilots, i a la vegada una desavantatge per la complexitat del sistema. La idea principal del circuit de seguretat és assegurar l'actuació del sistema de tracció sense haver d'actuar directament sobre d'ell. Per això, tal com estableix la normativa, s'ha de controlar els relés d'aïllament o *Accumulator Isolation Relays (AIR)*, tal i com es mencionen a la normativa, a través d'un circuit elèctric que s'ha de dissenyar i que ha de ser alimentat per una font de d'alimentació aliena a l'acumulador de bateries, de 24 VDC.

Cal mencionar que la normativa ja marca un exemple aclaridor (veure figura 7) de com s'ha d'estructurar el circuit de seguretat, el qual clarifica la connexió entre els relés d'aïllament de la sortida de l'acumulador, i el circuit de càrrega del condensador de la controladora electrònica.

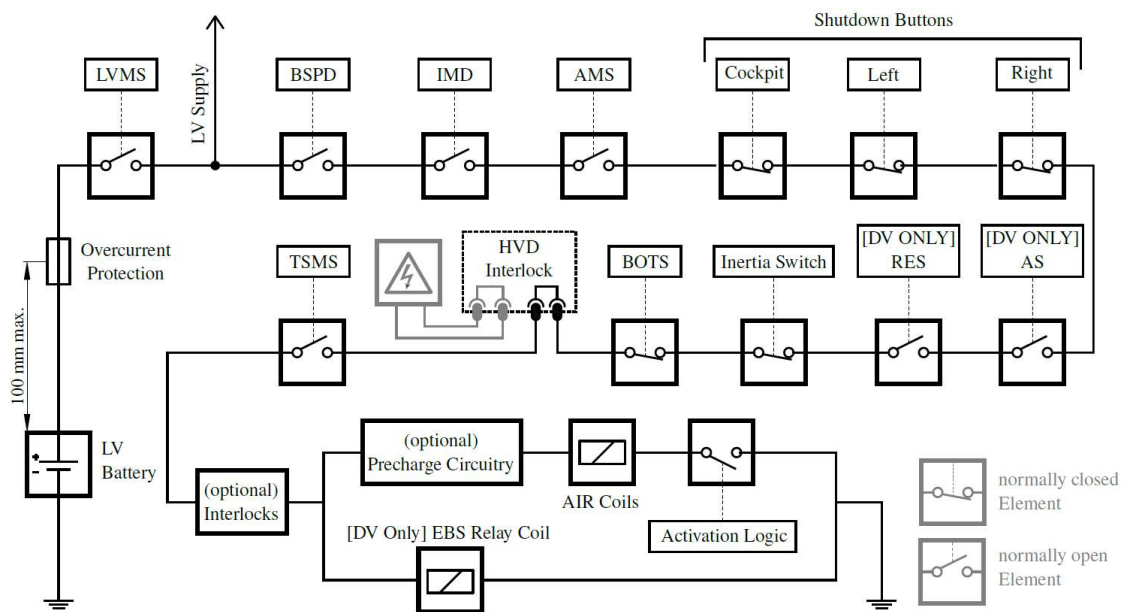


Figura 7.- Exemple aclaridor de l'esquema requerit pel circuit de seguretat de la normativa SAE

La interconnexió entre els elements del circuit permet incrementar la rapidesa en el control del sistema, de manera que si algun subsistema del circuit de seguretat fallés, s'obre tot el circuit i tots els components del vehicle. D'aquesta manera es pot actuar sobre el monoplaça i manipular-lo de manera segura per resoldre el problema. A més, no només s'obre el circuit, si no que a més, s'obren els relés d'aïllament de l'acumulador, permetent que el voltatge disminueixi per sota dels 60 V i que la intensitat es redueixi a 25 Arms en menys de cinc segons. Una mesura addicional de seguretat que marca la normativa, és la d'obrir els relés amb un retard de menys de 250 ms per indicar l'acció a la controladora del motor i reduir el corrent del circuit d'alta tensió. Aquest apartat de la normativa es troba explicat de forma detallada en l'[Annex E](#), on hi ha compartits tots els punts de la normativa que involucren al circuit de seguretat del sistema de tracció.

3.3. Disseny de l'acumulador de les bateries

El motor elèctric és, sens dubte, el cor del prototip però l'acumulador de bateries, és la part de més pes del projecte, en el sentit literal i figurat. A continuació, es procedeix a explicar tots els passos per arribar a assolir l'objectiu de construir la caixa o acumulador per les 96 cel·les seleccionades, el seu sistema de gestió i de càrrega. Es divideix aquesta explicació en aquests subapartats, per aportar les aclariments necessàries per cada part de l'acumulador.

Per garantir la verificació de la normativa en tot moment del procés de disseny, l'organització de la Formula Student Spain facilita un document que al omplir-ho amb les dades del nostre prototip, ens permet de forma que permet constatar en tot moment el compliment de la normativa. Aquest document s'anomena *Electrical System Form* o ESF, i es troba especificat a l'[Annex F](#).

3.3.1. Acumulador

Aquest apartat, parla de tots els components que conformen l'acumulador en si. Per tant, els punts tractats seran els de la carcassa o caixa que protegeix les bateries, els components elèctrics interns o annexes a la caixa, i el sistema de refrigeració.

La carcassa consta primordialment d'una xapa d'acer d'1,5 mm de gruix, que és el gruix mínim que marca la normativa. També consta que la carcassa ha de servir com a aïllant elèctric i que la seva resistència al foc compleixi la normativa UL94-V0. La normativa UL94-V0 marca que el foc s'extingeixi en menys de 10 segons i sense degoteig. Complir aquest aspecte és de vital importància, ja que en cas d'incendi, permetrà a la resta de mòduls poder funcionar independentment i sense veure's afectats. A la setmana de la competició, els organitzadors ens proporcionaran una zona de càrrega específica pels acumuladors al circuit, per tant, aquesta mesura permet no afectar a la resta d'equips que fiquin el seu acumulador a prop del nostre.

Comparant les diverses opcions del mercat dels aïllants elèctrics, s'opta per cobrir l'interior de l'acumulador i les parets d'interne, d'espuma de melamina que, com es veu al seu *datasheet* disponible en l'[Annex G](#), compleix tots els requeriments de la normativa. De fet, el fabricant que distribueix l'espuma, garanteix una resistència elèctrica d'un valor de centenars de milions d'ohms. A la figura 8, que es tracta d'una imatge captada d'un vídeo propi, s'observa com el valor que mesura el multímetre indica una resistència elèctrica d'aproximadament 160 MΩ, sent un resultat més que suficient per poder aïllar per complet un mòdul de l'altre mòdul en cas de moviment i contacte de la paret interior.

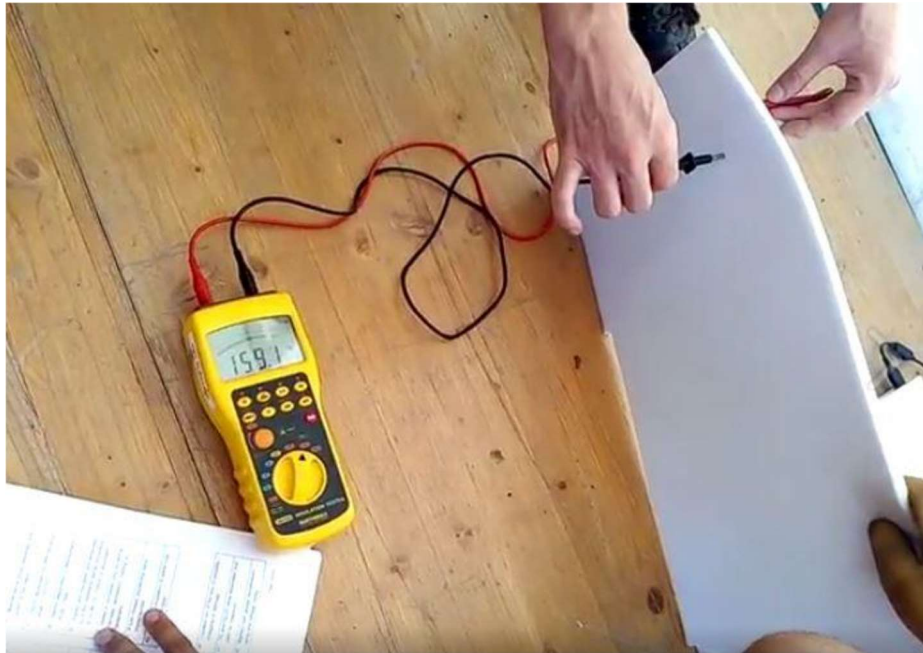


Figura 8.- Comprovació de la resistència elèctrica de l'espuma de melanima

Un altre punt de la normativa on es fa bastant èmfasi, és el de l'aplicació de relés d'aïllament, o com surten mencionats a la normativa, AIR o *Accumulator Isolation Relays*, i un fusible de potencia connectat entre ells. Aquests relés han de ser de tipus normalment obert i sense mercuri, i el fusible, òbviament, ha de tenir un corrent nominal inferior al dels relés d'aïllament. Les opcions del mercat són molt àmplies i totes dintre d'un mateix rang de preu, així que s'ha optat per dos relés d'aïllament normalment oberts del model *KILOVAC LEV200*. Aquests treballen en un rang de voltatge de 12 a 900 VDC (el nostre màxim serà de 355,20 VDC) i el voltatge nominal de la bobina de control és de 24 VDC a l'igual que el circuit de seguretat. Per conèixer més característiques dels relés, a l'[Annex H](#), es troba el seu *datasheet*. Respecte al fusible, s'opta pel model *250FM* de *Cooper Bussman*, el qual opera a una tensió màxima de 500 VDC i un corrent continu de 250 Arms. El seu *datasheet* es pot trobar a l'[Annex I](#).

A la figura 9, es mostra la distribució de les connexions dins de l'acumulador de bateries. Com es pot apreciar, els relés d'aïllament es troben situats un a cada sortida dels pols de l'acumulador, i el fusible, justament en el pol positiu abans de connectar amb el relé. Idealment, haurien de trobar-se fora l'acumulador, i evitar possibles riscos de connexions. Per tal de poder tenir aquests components a prop, i no només per estalviar espai extra innecessari, es decideix comptar amb caixes estanques de *Famatel*, que s'instal·len a l'interior de l'acumulador, per protegir els relés i el fusible. Més endavant, a les figures 9 i 10, es mostren unes imatges en les que s'aprecia molt millor els detalls d'aquestes connexions i la distribució dels components.

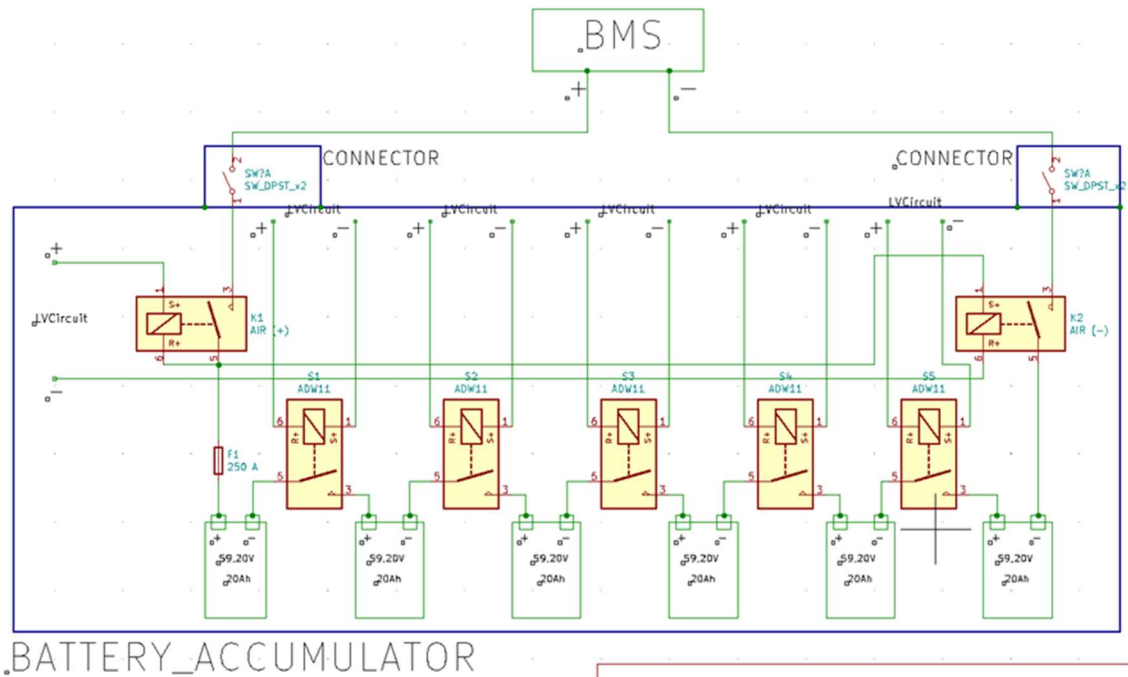


Figura 9.- Diagrama elèctric de les connexions entre cel·les

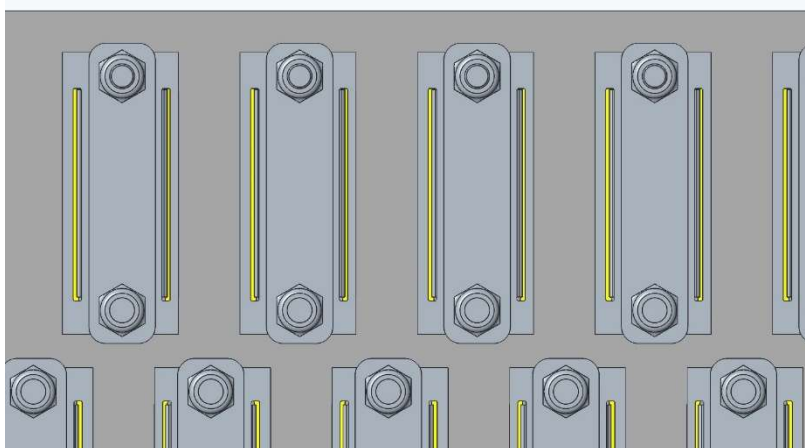


Figura 10.- Connexió mecànica entre cel·les (CAD i imatge real)

Com també podem observar a la figura 9, la bateria està subdividida en sis mòduls, de 16 cel·les cadascun, amb un voltatge nominal de 59,20 V cadascun. Aquests mòduls estan connectats en sèrie via relés d'aïllament. Cal destacar que tant els relés d'aïllament com els connectors de manteniment, tots alimenten la seva bobina interna a partir del voltatge entregat per part del circuit de baixa tensió amb la bateria de 24 V. La línia blava que apareix a la figura 9, mostra quins components trobem físicament dintre de l'acumulador. Això sí, tal com es mostra a la figura 11 a continuació, es troben dintre de les caixes estanques amb els relés AIR i el fusible.

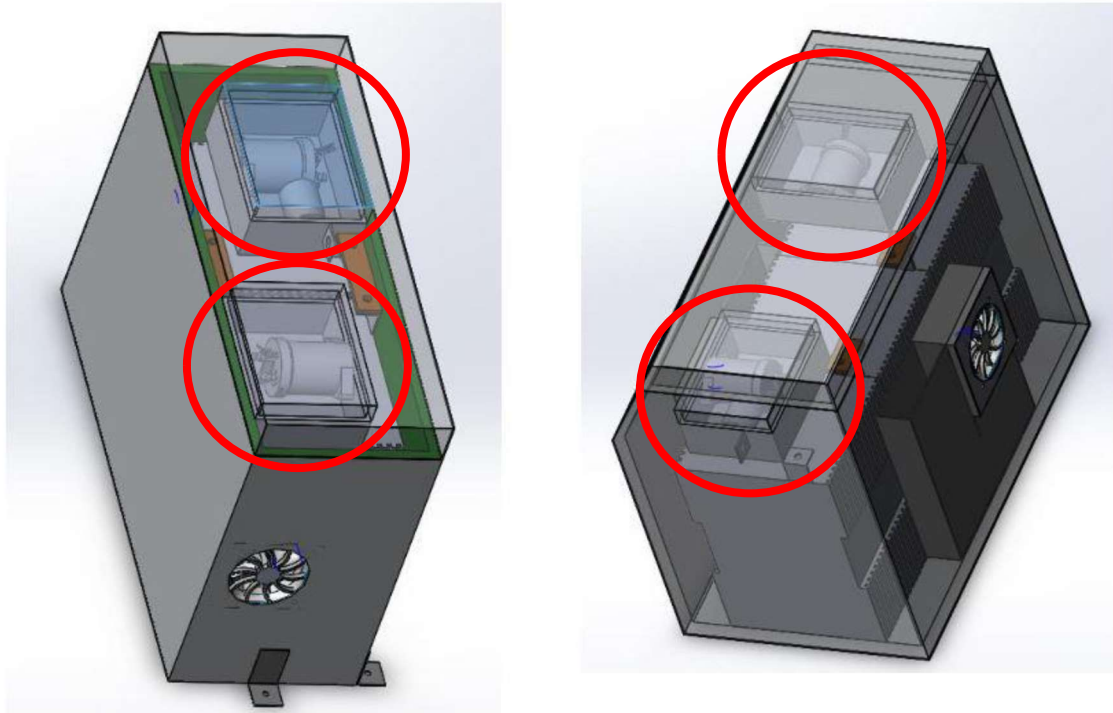


Figura 11.- Caixes estanques dintre de la primera versió de l'acumulador

Finalitzada la configuració mecànica de la caixa, es procedeix a parlar de la configuració electrònica. El sistema de gestió de bateries del nostre vehicle elèctric (BMS, de l'anglès *Battery Management System*) és part del sistema de seguretat elèctric del vehicle. Es tracta d'un sistema que s'encarrega del monitoratge les cel·les de les bateries (mesura voltatge, temperatura i corrent) i garantir que funcionen dins dels marges de seguretat establerts, evitant el risc d'incendi i maximitzant la vida d'aquests costosos elements del vehicle són les cel·les. Per tant, òbviament, el prototip ha d'estar dotat d'un BMS, per a optimitzar el funcionament del sistema d'emmagatzematge d'energia.

La normativa de la competició estableix que la és obligatòria la incorporació d'un sistema de monitoratge de cel·les (BMS) en qualsevol prototip amb propulsió elèctrica que disposi d'un sistema d'emmagatzematge principal d'energia de bateries. A més, també s'ha d'assegurar que es mesuren i monitoritzen el 100% de les cel·les de l'acumulador d'energia. Aquest punt ha de ser demostrable en les proves tècniques de la competició per mitjà del programari del BMS. El BMS també ha de mesurar i controlar la temperatura de les cel·les per mitjà de sensors de temperatura, com a termistors, per mantenir-la per sota de la temperatura màxima de les cel·les. D'acord amb la normativa de la competició, per a les cel·les de liti com les que disposa el nostre acumulador, s'ha de monitoritzar almenys el 30% del total de les cel·les. Els termistors han d'estar instal·lats junt el pol negatiu de cada cel·la o com a molt a 10 mm d'aquesta. per tant, es decideix utilitzar 30 sensors de temperatura en total. Per tant, si volem distribuir-ho equitativament pels diferents mòduls per tenir un major coneixement de que succeeix dintre de l'acumulador, ficarem 5 sensors per cada mòdul. El BMS ha de ser capaç d'executar el sistema de seguretat (AIRs) si es detecta alguna fallada en el mesurament del voltatge de les cel·les o per problemes de temperatura. Això s'aconsegueix mitjançant una sortida digital que té el BMS

que activa un relé de 12V DC, amb contacte normalment obert, connectat en sèrie amb tot el circuit de seguretat del prototip. Aquesta sortida del BMS també s'utilitza en els estats del vehicle de *ready* i *charge* que s'estableix a la controladora electrònica, i s'activa quan el BMS detecta que les bateries estan llestes per a descarregar-se. Deixarà d'estar activat quan el BMS comprovi que s'ha aconseguit el límit de corrent de descàrrega o quan la bateria ja no pot proporcionar corrent, o bé quan existeix algun tipus d'error en les cel·les de les bateries.

Com a mesura de seguretat addicional, s'ha instal·lat un indicador LED en el panell del pilot que indica quan la sortida de senyal digital està apagat i, per tant, els AIRs estan oberts.

Un últim element important de la bateria, i que acabarà de definir les dimensions que assolirà, és el sistema de refrigeració. Comparat amb la resta de components que conformen el sistema de tracció, el sistema de refrigeració es troba separat al de l'acumulador. Tant el motor com la controlada aniran refrigerats per un circuit de refrigeració líquida a partir d'aigua propulsada per una bomba. Aquesta bomba consta d'un cabal de 9 L/min, el qual es suficient pels dos components. El fabricant del motor recomana un cabal de 8 L/min en el cas del model seleccionat i el fabricant de la controladora demana un cabal de 5,5 L/min. Per tant, la bomba seleccionada de 9 L/min, garanteix el bon rendiment del sistema. El sistema de refrigeració de les bateries (veure figura 12) serà per aire.

Al tractar-se d'un prototip format per un xassís tubular, l'aire que circularà a la part posterior del vehicle serà superior a la d'un prototip fet amb monocasc. Això permet que la seva refrigeració no sigui tant crítica. Tot i així, es decideix comptar amb un sistema de 6 ventiladors de la marca *Noctua*, model *NF-A6X25*, que arriben a les 3000 rpm i tenen un impacte acústic reduït. Tots sis ventiladors es situaran per la part alta de l'acumulador, quatre en els laterals i dos a una banda, just on es troben els pols de les cel·les ja que serà la part que més s'escalfarà i, per tant, més crítica.

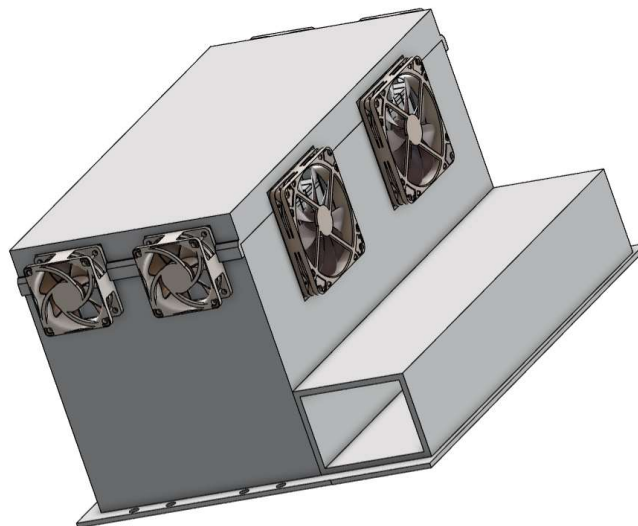


Figura 12.- Ventiladors instal·lats a l'acumulador

La correcta circulació d'aire dintre de la bateria s'ha verificat mitjançant simulació, garantint que els ventiladors poden expulsar gran part de l'aire calent de l'interior de l'acumulador.

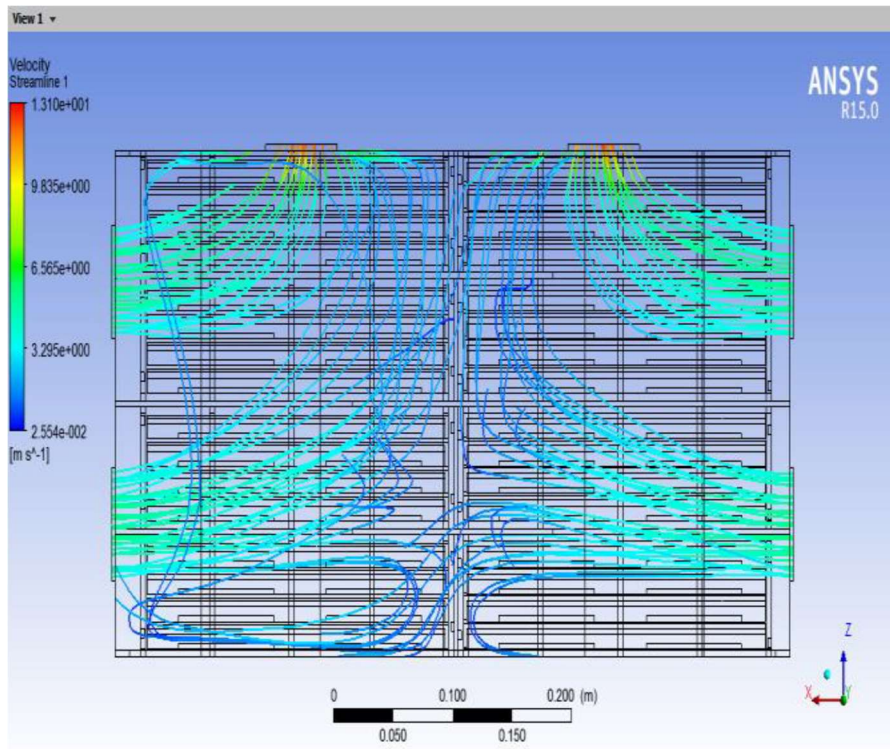


Figura 13.- Vista d'amunt de la circulació d'aire simulada amb el programa ANSYS

La figura 13 mostra el resultat de la simulació de flux d'aire, a on el color representa la velocitat de l'aire. La simulació mostra el flux d'aire amb els dos ventiladors del lateral actius i els dos del costat més gran en mode extractor, que serà el funcionament habitual un cop s'activi el sistema de tracció. La decisió de fer aquesta simulació, ve donada per decidir en quina posició va millor col·locar aquests ventiladors, i així arribar a la simulació que s'observa que abasta gran superfície de la planta de l'acumulador, encara que s'aprecien petits espais a on, possiblement, costa més fer arribar l'aire. Cal considerar que en aquest estudi no s'ha considerat la incorporació de dos forats a la paret on no hi ha instal·lat cap ventilador, fet que ajudaria a circular l'aire al seu interior. També ajudaria a mantenir una temperatura menor dintre de l'acumulador, i a més, permetria que aquests espais difícils de fer arribar l'aire que surten al gràfic, estiguessin a l'abast amb els sis ventiladors en la distribució que teníem pensada inicialment.

A l'[Annex J](#), es mostra la totalitat dels components que formen part d'aquest acumulador i un resum de la funcionalitat i detalls tècnics de cada apartat en el que es podria dividir. Dit això, fins aquí acabaria la part de disseny de la primera part del treball, i a continuació, procedim a desenvolupar el carregador de les cel·les.

3.3.2. Carregador de les cel·les

El carregador de l'acumulador és una altra part important del sistema, tot i tractar-se d'una part externa al circuit, que intervé en molts aspectes de seguretat. Es comunica amb el BMS a través del bus CAN integrat, així el BMS també pot controlar l'estat de treball del carregador i ajustar el seu corrent de càrrega.

El mode de treball del carregador es troba en càrrega constant de corrent quan s'inicia la càrrega, canvia a càrrega constant de voltatge quan arriba al voltatge que estableix el BMS, el corrent de càrrega disminueix gradualment en el moviment. Quan el corrent de càrrega es va reduint a un cert nivell, la càrrega es completa, i l'alt voltatge de sortida del carregador també es desactiva automàticament. Quan la sortida d'alta tensió no s'endolla en el sòcol de sortida d'alta tensió, el terminal de carregador que es connecta a l'apagada del quadre de la bateria no té sortida +12 V, i el terminal de voltatge alt del carregador tampoc té sortida d'alta tensió en aquest moment. Desconnecta la sortida d'alta tensió del sòcol d'alta tensió durant el procés de càrrega, el carregador immediatament talla la sortida +12V que connecta a l'apagada de la bateria, i també talla la sortida d'alta tensió del carregador.

Després de prémer l'interruptor d'interrupció d'emergència, es talla tant el subministrament d'alimentació +12V com la sortida d'alt voltatge. Quan l'alarma del dispositiu de monitorització d'aïllament o IMD com surt a la normativa, es produeix al quadre de la bateria, el corresponent llum d'alarma IMD del carregador està activat, i el subministrament d'energia de +12V es talla. El carregador equipat amb l'interruptor de restabliment d'alarma IMD, l'alarma IMD es va restablir quan premeu el commutador de restabliment IMD. Aquesta alarma té la funció de mantenir premuda. Una vegada que es produeix l'alarma IMD, l'alarma IMD només es pot restablir prement l'interruptor de reinici o reiniciant la potència del carregador, la restauració de la font d'alimentació +12V (aquesta potència l'apagada de la bateria) al mateix temps.

Quan l'alarma comuna BMS es produeix al quadre de bateria, el corresponent carregador d'alarma comú BMS està activat, i el subministrament d'energia de +12V (aquesta potència el tancament del quadre de bateria) es va tallar. El carregador equipat amb un commutador de restabliment de l'alarma comuna BMS, l'alarma BMS es va restablir quan es prem l'interruptor de restabliment d'alarma comuna de BMS. Aquesta alarma té la funció de mantenir premuda. Una vegada que es produeix l'alarma BMS, l'alarma BMS només es pot restablir prement l'interruptor de restabliment d'alarma ABMS o reiniciant la potència del carregador, la font d'alimentació +12V (aquesta potència la caixa de la bateria) es restaura al mateix temps.

El carregador va equipat amb un indicador de voltatge/corrent per mostrar el voltatge i el corrent de càrrega del carregador. Adopta un disseny separat d'alt i baix voltatge amb connectors diferents, que fan que el carregador sigui segur i fiable. A més, porta implementat un circuit de descàrrega d'alta tensió. Sempre que es va tallar l'alta tensió, el circuit de descàrrega interna alliberarà ràpidament l'energia elèctrica emmagatzemada dels components capacitius del carregador i farà que el voltatge residual de sortida del carregador sigui inferior al 10% del voltatge normal de treball en 5 segons. Com a últim detall, el carregador equipat amb un sòcol de filferro de terra, que s'utilitza per connectar el cable de terra del carregador a la bateria i el cable de terra segur al lloc.



Figura 14.- Carregador de l'acumulador de les bateries

A aquest carregador, cal connectar-lo a un circuit d'auto-apagat, per garantir el seu funcionament. A la figura 15, s'aprecia l'esquema elèctric d'aquest circuit, i a continuació, es descriu el circuit i la seva funcionalitat.

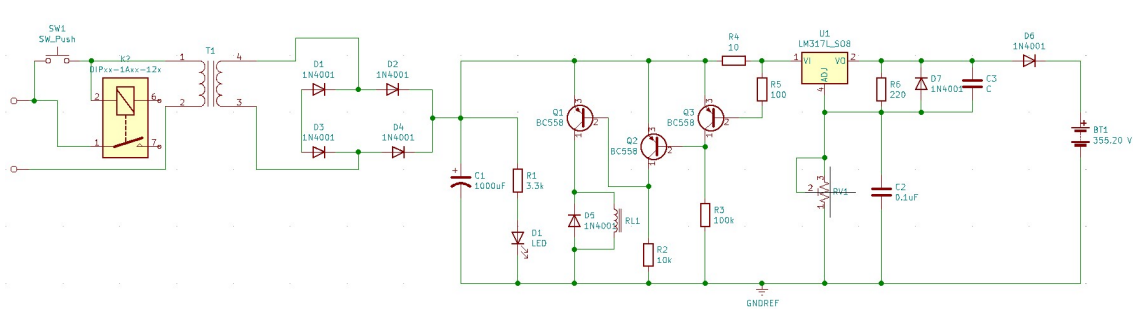


Figura 15.- Esquema elèctric del circuit d'auto-apagat del carregador

A la secció Convertidor AC-to-DC, el transformador X1 baixa els 230V AC a 9V AC a 750 mA, que es rectifica per un rectificador d'ona completa que comprèn díodes D1 a D4 i filtrat pel condensador C1. Regulador IC LM317 (IC1) proporciona el voltatge de càrrega de 12V DC requerit. Quan es prem l'interruptor S1 momentàniament, el carregador comença a operar i el motor LED1 brilla per indicar que el carregador està activat. La secció del controlador de retransmissió utilitza transistors PNP T1, T2 i T3 (cada BC558) per a energitzar el relé electromagnètic RL1. Relay RL1 està connectat al col·leccionista de transistors T1. El transistor T1 és conduït pel transistor PNP T2, que, al seu torn, és conduït pel transistor pnp T3. El Resistor R4 (10-ohm, 0,5W) està connectat entre l'emissor i la base del transistor T3. Quan un corrent de més de 65 mA flueix a través de la línia 12V, causa una caiguda de voltatge d'uns 650 mV a través de la resistència R4 per conduir transistor T3 i tallar el transistor T2. Això, al seu torn, converteix el transistor T1 'on' per energitzar el relé RL1. Ara, fins i tot si es deixa anar el botó d'empenta, els mains encara estan disponibles per a la primària del transformador a través dels seus contactes normalment oberts.

A la secció de tarifació, el regulador IC1 està esbiaixat de donar aproximadament 7.35V. El valor predefinit VR1 s'utilitza per ajustar el voltatge de biaix. Díode D6 connectat entre la sortida de IC1 i la bateria limita el voltatge de sortida a aproximadament 6,7V, que s'utilitza per carregar la bateria. L'interruptor S1 activa el relé RL1 i les piles de bateria comencen a carregar. A mesura que el voltatge per cèl·lula augmenta més enllà d'1,3V, el voltatge baixa a través de la resistència R4 comença a disminuir. Quan cau per sota dels 650 mV, el transistor T3 es talla per conduir el transistor T2 i, al seu torn, talla el transistor T3. Com a resultat, el relé RL1 es desentén per tallar el carregador i el LED vermell s'apaga.

Podeu determinar el voltatge de càrrega depenent de les especificacions de les cel·les NiCd del fabricant. Aquí, hem establert el voltatge de càrrega a 7,35 V per a quatre cèl·lules 1,5 V. Avui dia, hi ha 700 cèl·lules d'AH disponibles en el mercat, que es poden carregar a 70 mA durant 10 hores. El voltatge de circuit obert és d'aproximadament 1,3 V. El punt de voltatge d'apagada es determina carregant les quatre cèl·lules completament (a 70 mA durant 14 hores). Després de mesurar el voltatge de sortida, afegiu la gota de díode (aproximadament 0,65V) i el biaix LM317 en conseqüència.

3.4. Disseny del circuit de seguretat

El segon apartat del treball mostra com es dissenya els sets subsistemes que formen el circuit general de seguretat. L'esquema general el podem dividir en els subapartats que procedeixen en la memòria. Allà és on quedarà detallat la seva funció i estructura.

Tal com s'ha pogut apreciar a la figura 12, s'observa una petita caixa o espai adjunt a l'acumulador de les bateries. Per tal de poder estalviar el màxim de components dintre l'acumulador, i omplir-ho de caixes estanques que ens facin empitjorar la circulació de l'aire, es decideix la construcció d'aquesta capsa per poder encabir la resta de components del circuit de seguretat. Amb aquesta distribució, no només tots els components estan controlats al mateix espai reduït, si no que a més, garantim poder aïllar físicament els components que treballen a alt voltatge i els que treballen a baix voltatge.

A la figura 16, es mostra l'esquema general de tot el circuit de seguretat:

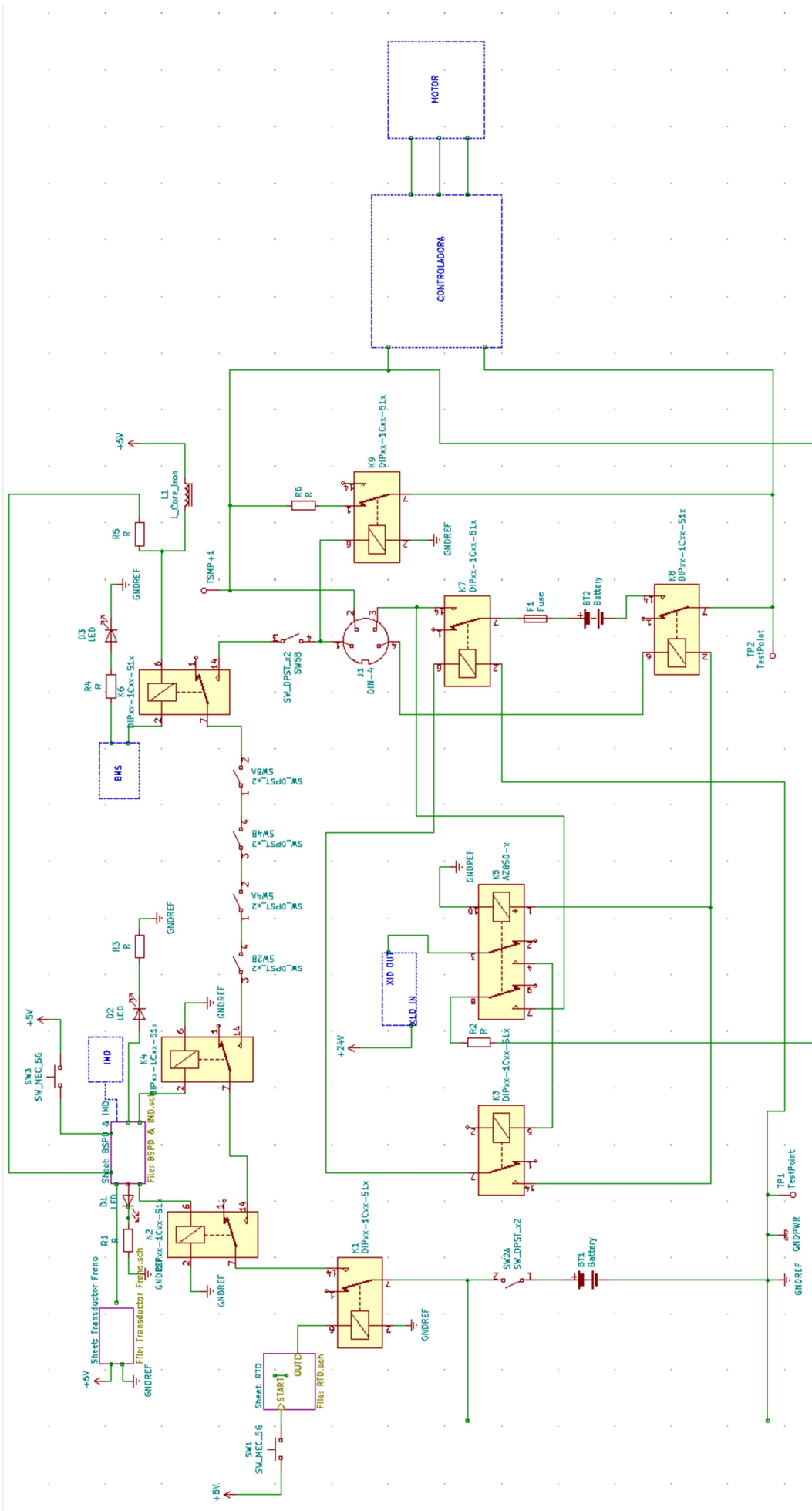


Figura 16.- Esquema elèctric del circuit de seguretat

Aquest esquema de la figura 16, es mostra les connexions entre els diversos components, tot i que cal destacar que hi ha molts components que no aniran implementats en una mateixa placa PCB. Interruptors del sistema com es veuran a l'[apartat 3.4.6.](#), van soldats fora de l'acumulador, ja que requeriran d'interacció amb persones externes al vehicle, o amb el mateix pilot, si es tracten de components col·locats al panell del pilot o *dashboard*. L'únic que es quedarà soldat en una mateixa placa i, per tant, dintre de la capsula auxiliar de l'acumulador, seran les parts que formen el sistema de plausibilitat del sistema de frens, l'IMD, la llum que ens alerta de l'estat del sistema de tracció anomenada TSAL i els circuits de precàrrega i descàrrega dels condensadors de la controladora electrònica del motor. Per tant, allà tindrem tota l'electrònica analògica, que per seguretat del sistema, es decideix no utilitzar lògica programable en aquests sistemes.

La resta de components que no es trobin en aquesta placa estaran connectats amb cables que aniran soldats i distribuïts a través de canaletes col·locades a l'interior de l'estructura del xassís del vehicle. Hi hauran un total de tres canaletes situades arreu del vehicle. La primera (longitud de 1300 mm aprox.) anirà del *dashboard* del pilot fins a l'acumulador, cablejant on tots els components situats allà, i a part, els sensors provinents del pedaler. La segona (longitud de 1040 mm aprox.) vindrà de l'altra punta del vehicle, exclusivament per la llum de fre del monoplaça. Per aquesta última, la canaleta prové per la necessitat de protegir el cable de possibles sortides de cadena o de peces en moviment quan el cotxe estigui en funcionament. Per últim, la tercera canaleta (longitud de 940 mm aprox.) provindrà de la part superior de l'acumulador, justament del lateral dret del vehicle, on està situat el anomenat *Switch Panel*. D'allà vindrà el cablejat dels interruptors i punts de mesura del sistema de tracció, i de més amunt, s'incorporarà el cablejat de la llum del sistema TSAL.

Per tant, es procedeix a explicar cada subsistema del circuit de seguretat.

3.4.1. Sistema d'activació del prototip (Ready to Drive)

El sistema d'activació del prototip s'encarrega d'encendre el prototip i deixar-lo llest per conduir. Aquesta seqüència s'ha de complir just quan el pilot acciona el pedal de fre i que el sistema de tracció respongui a aquesta entrada a través d'un polsador situat al *dashboard*.

Per tant, es realitzen les següents accions per deixar el vehicle en l'estat de "*Ready To Drive*". Primer, s'alimenta el relé RTD (*Ready To Drive*), tancant així el circuit de seguretat del vehicle i activant el sistema. Al seu torn, aquesta acció activa un LED indicador que es troba en el panell del pilot i indica que s'ha tancat el relé RTD. A part d'aquest LED indicador, també s'activa un bronzidor (*buzzer*), el qual emet un so amb una potència major a 80 dB durant 3 segons. A més, s'ha decidit prendre la mesura de seguretat addicional d'afegir una senyal digital ens indicarà si està o no activat el circuit de seguretat en el monitor situat a sobre del volant del pilot. Un relé amb bobina 24 VDC connectat en paral·lel amb els AIRs. El contacte del relé s'alimenta a 5 V en contínua i es convertirà en una entrada digital pel *Arduino*.

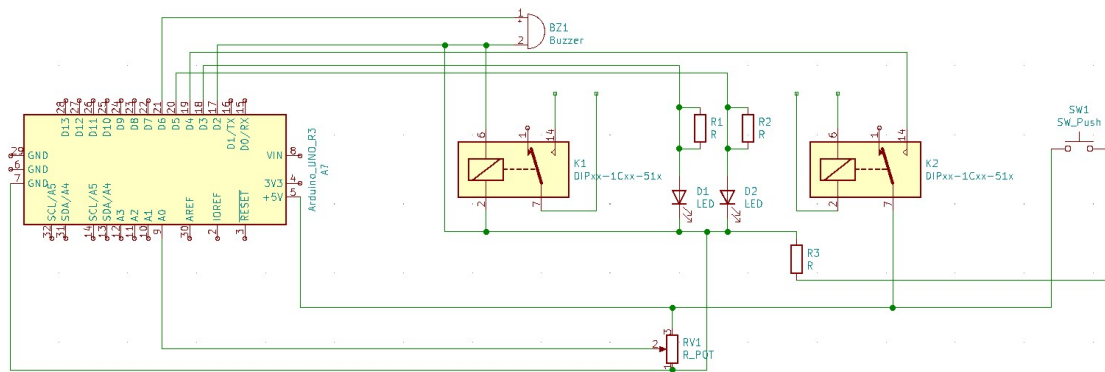


Figura 17.- Esquema elèctric del sistema d'activació del vehicle

A la figura 17 es mostra les connexions necessàries per formar el circuit del sistema d'activació del vehicle, i a l'[Annex K](#), es troben les línies de codi implementades en el microprocessador de l'Arduino per fer-ho funcionar. El *buzzer* BZ1 el tindrem connectat just darrere del panell del dashboard, protegit per una carcassa (veure figura 18) impresa amb una impressora 3D, fet de plàstic PLA, per tal de protegir les connexions entre els components i l'Arduino que rep totes les senyals de la telemetria i els components connectats al panell. Els dos LEDs indiquen el següent: el primer (color verd) s'il·lumina tres segons com a alerta visual de l'activació del vehicle i el segon (color vermell) serveix per alertar que el circuit de seguretat s'ha obert per l'acció del relé RTD mencionat prèviament, i així tenir una referència visual de per quin motiu s'ha obert el circuit, i saber per quin factor ha vingut causat.

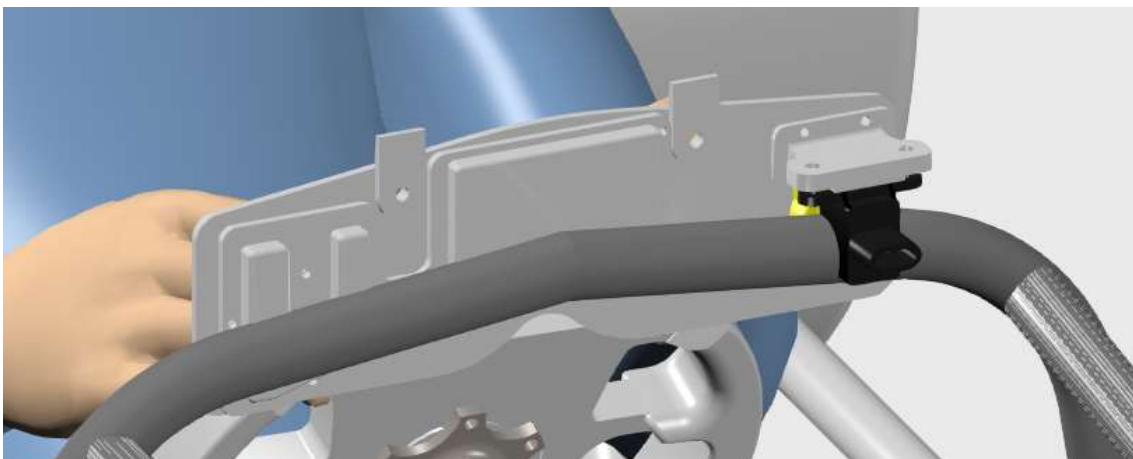


Figura 18.- Carcassa protectora dels elements i Arduino situats al dashboard

3.4.2. Pedaler i dispositiu de plausibilitat del sistema de frens (BSPD)

Durant la conducció, el pilot del monoplaça controla la tracció del vehicle mitjançant els pedals (acceleració i fre). Per tal de fer arribar aquesta informació al controlador del motor per a que pugui fer girar l'eix del motor elèctric, cal acoblar en els pedals uns sensors. Al pedal d'acceleració, consten dos sensors de desplaçament diferents, els quals permeten mostrar com de fons s'està trepitjant l'accelerador. Aquest sensors son idèntics i afegixen redundància al

sistema per poder detectar un mal funcionament quan existeix una diferència en el senyal dels dos sensors superior al 10%. El pedal del fre, aquest resulta més senzill donat que només cal connectar un transductor de fre, és a dir, un sensor de pressió el qual ens permeti saber la força aplicada al pedal, per tal de poder mostrar el recorregut pres al pilot, ja que l'acció de fre ja es produeix de forma mecànica per part del transductor. A continuació, es mostra la Figura 19 el pedaler del vehicle, amb els pedals instal·lats.

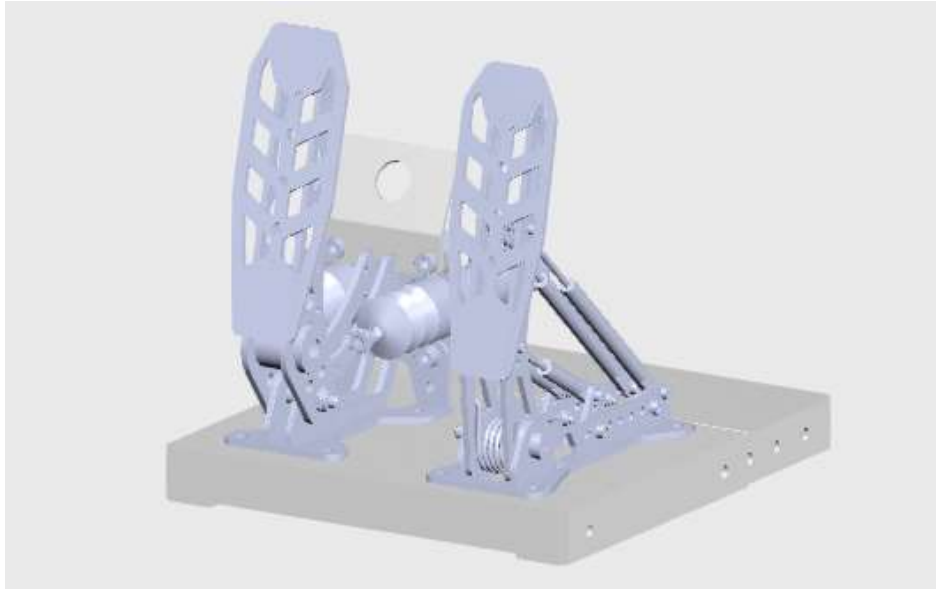


Figura 19.- Pedaler del vehicle

A la figura 19 es veu quins són els models escollits amb els seus sensors degudament instal·lats. Aquests sensors es tracten dels més primordials per al desenvolupament del vehicle, ja que ens permet poder comunicar al motor quant parell entregat, i poder transmetre'l a l'eix posterior del prototip per poder moure'l. Tot i això, un mal ús dels pedals, pot afectar de forma greu a la part mecànica del motor, si el pilot trepitja de forma intensa el fre i l'accelerador a la vegada. Aquí és on entra el sistema de plausibilitat del sistema de frens.

Per tal de poder evitar algun error o trencament en el motor, de forma analògica, es dissenya un circuit apart, que a la normativa anomenen com a sistema de plausibilitat del sistema de frens o BSPD. En cas que el pilot premi el pedal de fre amb un recorregut superior al 50% i el pedal d'acceleració superior al 25%, s'activa una alarma, per avisar que cal apagar el motor lo abans possible. Per últim, com a mesura addicional de seguretat, s'instal·la un interruptor passat el recorregut del pedal de fre, per tal de poder apagar el sistema de tracció en el cas d'una fallada mecànica del sistema de frens. A la figura 19, s'aprecia com el pedal del fre, situat a l'esquerra, té la platina per poder instal·lar el botó d'emergència.

El funcionament del sistema implementat és el següent. En condicions normals, quan s'està pressionant el pedal de l'accelerador sense accionar el fre, o pressionant el pedal del fre sense accionar l'accelerador, el senyal 1Q (BSPD_*ON) del U7A 74HC74 s'activa i per tant el relé que va connectat a aquesta sortida es tanca i activa el sistema de seguretat del vehicle, només si els altres dispositius de seguretat també es troben treballant en òptimes condicions. El component 74HC74 és un biestable (*flip-flop*) tipus D disparat per flanc amb entrades independents de set/reset asíncrones. Per tant, és un dispositiu flexible que pot funcionar tant com bàscula D

síncrona com a bàscula RS asíncrona. En aquest cas l'utilitzarem com a biestable tipus RS a causa dels requeriments del sistema. Més concretament el 74HC74 s'encarrega de fer set/reset dels senyals del BSPD i IMD.

Ara bé, si existeix una potència consumida de més de 5 kW des de les bateries a la controladora i es pressiona el fre mitjanament fort durant més de mig segon, es desactiva la sortida 1Q (BSPD_*ON) i s'activa el LED indicador d'error per BSPD que està instal·lat en el panell del pilot. En aquest estat, només serà possible reactivar el sistema BSPD mitjançant un RESET manual situat en la part esquerra del prototip dintre del *switch panel*.

Pel que fa al funcionament de l'electrònica del sistema, la porta lògica AND, rep els dos senyals del parell i fre, i quan ambdues estan actives, la porta AND treu un senyal de 5 V, que està connectada al disparador del temporitzador 555. Ajustem el seu temps de desactivació amb el potenciómetre RV1, on ho ajustem a 97 kΩ per els mencionats 0,5 s o 500 ms. És a dir, quan el 555 rebí el senyal de tret, estarà actiu durant 500ms, i després es desactivarà. Mentre no es desactivi, estarà traient un senyal cap al circuit integrat 4017. Aquest circuit integrat consisteix en un comptador de polsos el qual ens proporciona una tensió de sortida de 5 V, que va directament al 74HC74, que és el pin que representa el set del BSPD. Es mantindrà aquest estat i no serà possible canviar-lo sense el reset manual.

Per la part del IMD, la placa PCB rep el senyal que surt des del relé que anava connectat a la sortida "OKhs" del IMD, aquest estarà actiu quan el sistema d'aïllament del vehicle sigui correcte i per tant, aquest senyal anirà connectat a l'entrada 2Q del circuit integrat 74HC74. Aquesta entrada realitza la funció del "set" del sistema del IMD. Tal com s'havia realitzat pel BSPD, el reset del IMD es realitza mitjançant la pulsació del mateix botó que pel sistema de BSPD. Quan la sortida 2Q es trobi desactivada perquè ha ocorregut algun tipus d'error en l'aïllament del vehicle, un LED indicador instal·lat en el panell pilot s'activa. Les sortides de "BSPD_*ON" i "IMD_*OK" aniran cadascuna d'elles a un relé normalment obert. Aquests relés tindran una alimentació de la bobina de 5 VDC. Els relés instal·lats són dels típics que venen recomanat per Arduino, ja que aquests estan preparats per a reduir el consum dels senyals d'activació de les bobines, pel simple fet que incorporen un circuit intern amb transistors i resistències. D'altra banda, el contacte normalment obert d'aquests dos relés anirà en sèrie amb tot el circuit de seguretat del vehicle. A continuació, la figura 20 es mostra l'esquema elèctric final del sistema de plausibilitat del sistema de frens, on queda implementat tot el que s'ha esmentat prèviament.

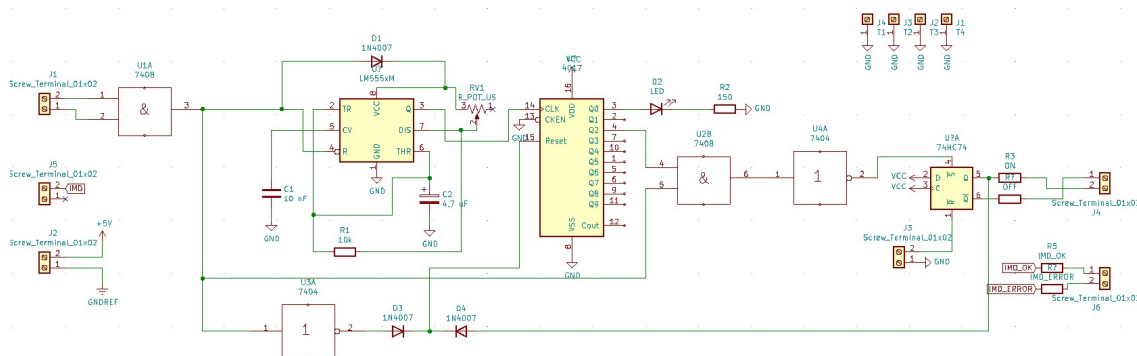


Figura 20.- Esquema elèctric del sistema de plausibilitat del sistema de fre

Un cop es troba finalitzada la seva etapa de disseny, es fa una representació en 3D, per tal de comprovar les dimensions de la placa final, i així dissenyar una caixa de protecció específica, a partir de l'impressora 3D que disposa la Universitat.

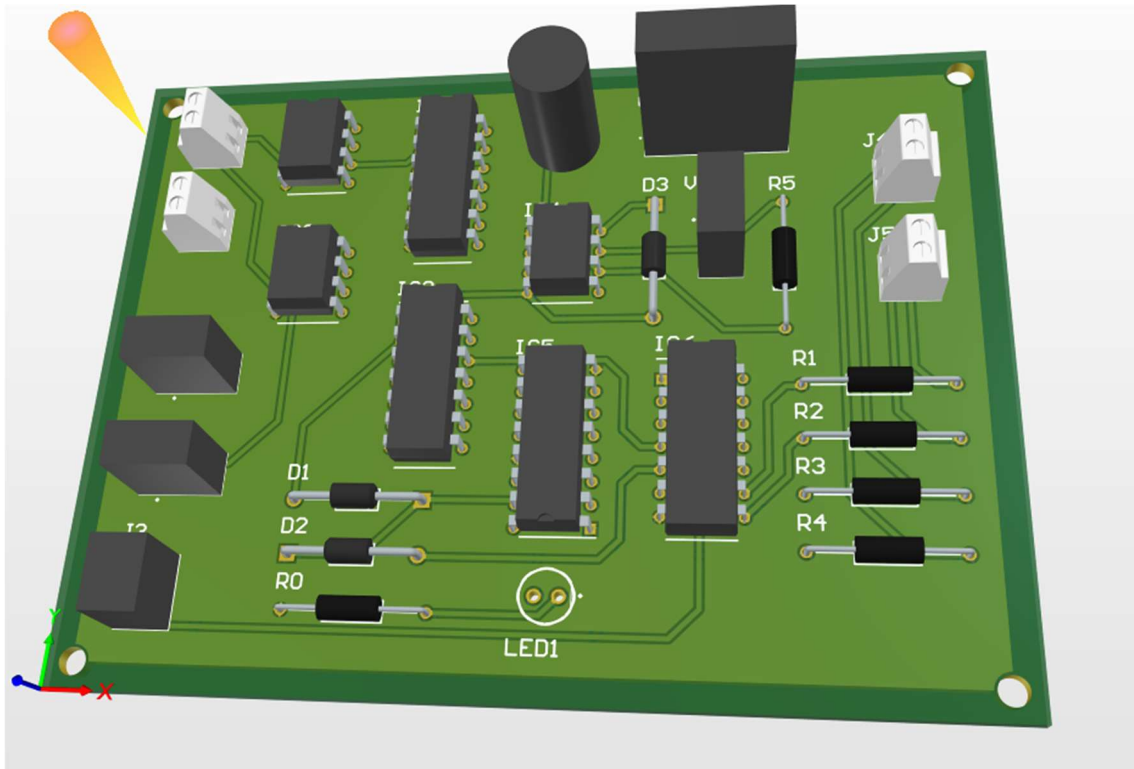


Figura 21.- Model 3D de la placa del BSPD i IMD

3.4.3. Circuit de precàrrega i descàrrega de la controladora

L'entrada de l'alimentació de la controladora no es pot alimentar directament de l'alt voltatge que surt de l'acumulador de bateries, sense haver realitzat prèviament una precàrrega al condensador que té connectat en paral·lel entre els dos pols d'entrada. La funció d'aquest condensador és la d'esporeir la diferència de voltatge que existeix entre la controladora al encendre's i el voltatge de la sortida de l'acumulador. A més, també cal tenir en compte que un cop s'apagui el sistema de tracció, caldrà descarregar aquest condensador també. Per tant, a continuació explicarem com s'ha dissenyat aquest circuit de precàrrega i descàrrega de la controladora.

L'esquema del circuit de precàrrega resulta ben senzill, consta només de connectar de forma paral·lela entre la sortida del pol positiu de l'acumulador i la de la controla, una resistència amb una potencia dissipadora específica que cal calcular. Primer, cal saber la potencia de la resistència que es vol instal·lar en el sistema. Per tant, es procedeix al següent senzill càlcul:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{355.2^2}{680} = 185.54 \text{ W}$$

Degut a que es necessita una resistència amb una potència major de 185 W i que sigui a prova de més de 400 V, s'opta per la resistència HS200 d'ARCOL, la qual té una potència de 200 W i suporta fins a 1900 V de tensió. La impedància d'aquesta resistència és de 680 Ω. Per saber el temps que haurà d'estar el circuit de precàrrega actiu per poder carregar el condensador, es pot determinar a partir de la següent fórmula:

$$V(t) = V \cdot (1 - e^{\frac{-t}{R \cdot C}})$$

D'aquesta equació, es sap la capacitat del condensador intern de la controladora (C = 440 μF) i que circularà un màxim de 355 VDC i amb aquests valors, es resol que la variable del temps és que ha de ser de 2 segons aproximadament.

En el cas del circuit de descàrrega, aquí s'instal·la un relé de potència normalment tancat, ja que només actua quan es desactiva el sistema de tracció a través del circuit de seguretat, i a part, en cas d'algun error de subministrament d'energia, permet al condensador descarregar-se i evitar problemes a altres línies del circuit. Per assegurar el seu compliment, es busca un valor d'impedància de 1000 ohms, i que s'ajusti al següent valor màxim de potència que suportarà el relé:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{355.2^2}{1000} = 126.17 \text{ W}$$

Com que en el mercat qualsevol resistència d'un valor de 1000 ohms ja disposa d'una potència de *rating* de 150W en menys de 2 segons, aquí no caldria considerar el temps que hauria d'estar el circuit obert

Per tant, el circuit final de precàrrega i descàrrega del condensador de la controladora electrònica, és el que es mostra a la figura 22:

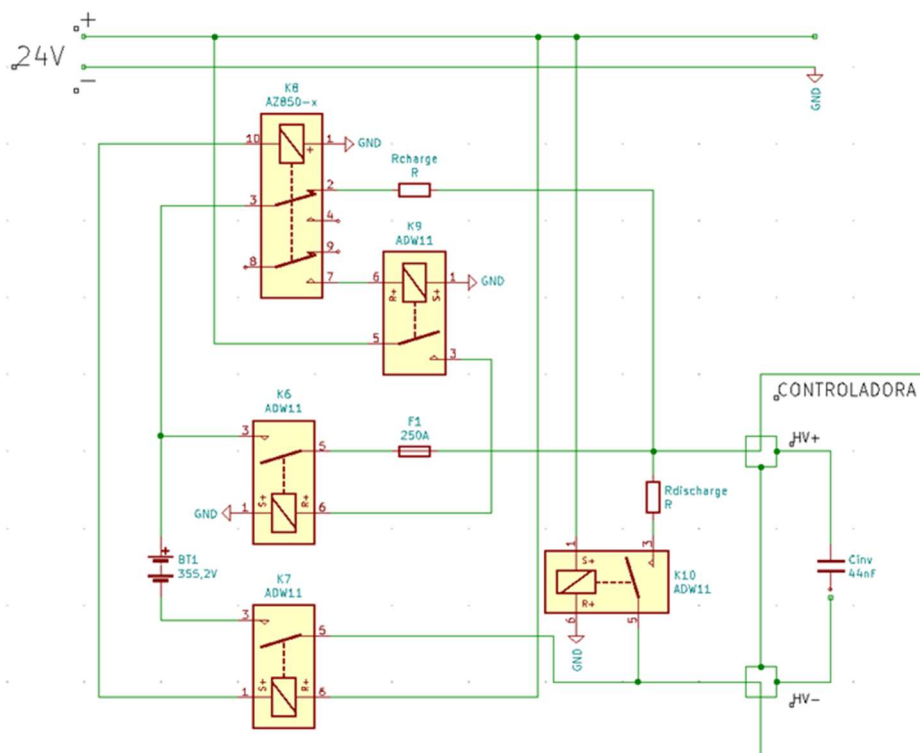


Figura 22.- Esquema elèctric del circuit de precàrrega i descàrrega

Analitzant el circuit de la figura 22, pel que fa a la part del circuit de càrrega, el relé K6 és la porta que ens obre el camí de la resistència de càrrega durant uns segons, per tal de poder carregar el condensador. Passat aquest temps, obre la sortida de la resistència i tanca el camí de l'altre relé que permet alimentar la bobina del relé d'aïllament del pol positiu de la sortida de l'acumulador, i així poder alimentar el circuit intern de la controladora electrònica, establint comunicació amb el pedaler i el motor. Al circuit de descàrrega, un cop s'obre el circuit de seguretat i tots els components deixen d'estar interconnectats entre ells, es tanca el relé K10, formant un curtcircuit entre el condensador i la resistència de descàrrega, provocant que la capacitat del condensador es dissipï amb la potència de la resistència que tenim connectada en el camí amb el relé K10.

3.4.4. Llum d'activació del sistema de tracció (TSAL)

Aquest indicador visual es troba situat a la part més alta del vehicle, on es pot observar l'estat del cotxe a través d'ella. Si la llum és verda i parpelleja (amb una freqüència d'entre 2 i 5 Hz), indica que el sistema de tracció es troba actiu, i en si la llum és vermella i fixa, indica que el sistema de tracció s'ha apagat i, per tant, els membres de l'equip ja poden manipular el vehicle de forma segura. L'esquema elèctric d'aquest subsistema del circuit de seguretat funciona de la següent manera.

Primerament, cal instal·lar un díode a la sortida del convertidor reductor que s'instal·la al vehicle. El convertidor DC-DC, serveix per a reduir el voltatge fins a 24 VDC i subministrar energia als sistemes de baix voltatge. El díode no deixa passar el corrent quan els relés AIR no estan tancats i el convertidor no estigui alimentat. És a dir, actua com un interruptor. Quan el convertidor no actua, circulen 24 VDC en el càtode del díode i fa d'interruptor obert, deixant sense alimentació el circuit TSAL. En canvi, si el sistema de tracció s'activa, el convertidor s'alimenta i en la seva sortida hi han 24 VDC, donant energia al TSAL. Una vegada ja es troba el circuit alimentat, realitzem el circuit que permet que el TSAL parpellegi amb la freqüència que ens marca la normativa. Un últim aspecte a afegir, és que el propi circuit integrador 555 és l'encarregat de produir els polsos perquè l'indicador parpellegi dins de la freqüències esmentades.

A continuació, es mostra a la figura 23 l'esquema elèctric de la llum d'activació del sistema de tracció:

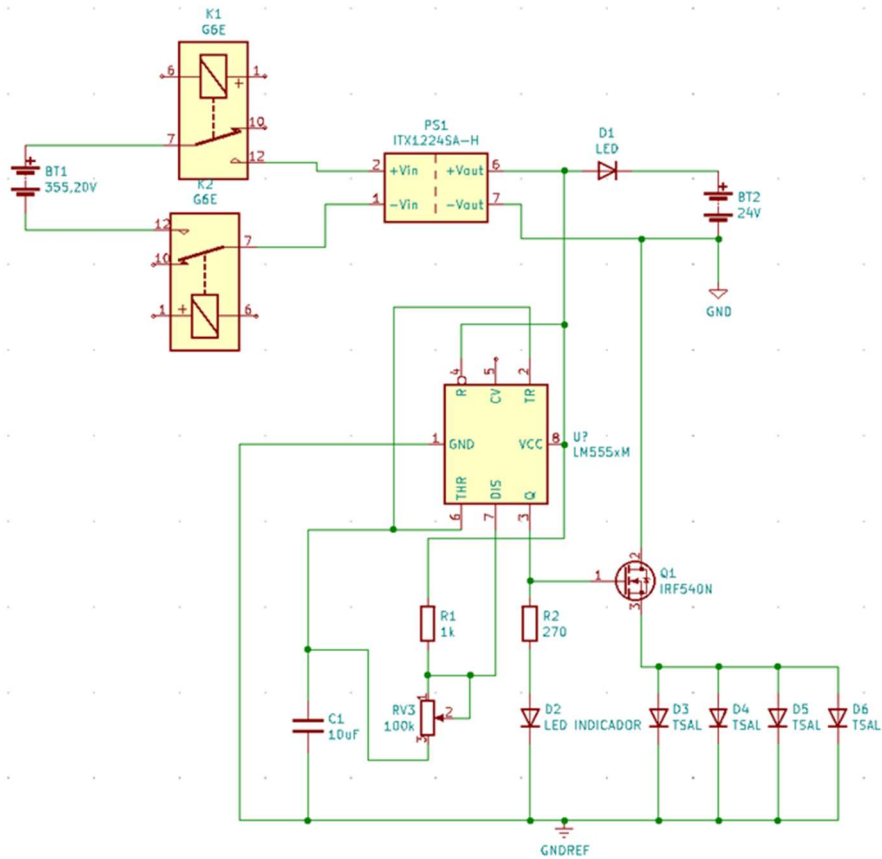


Figura 23.- Esquema elèctric de la llum d'activació del sistema de tracció TSAL

L'alimentació dels diversos tipus de LEDs que actuen en aquest sistema avisador de l'estat del sistema de tracció. Quan el convertidor rep alimentació de l'acumulador de les bateries, obre el circuit dels LEDs verds, i connecta amb el temporitzador 555 al qual programem el seu clock intern per lliurar la freqüència desitjada a la línia de LEDs vermells, a través de la instal·lació del condensador C1 a l'entrada de THR. Quan l'acumulador obre els seus relés d'aïllament, curtcircuita la resta de components del circuit, quedant alimentat només la línia de LEDs verds, que s'il·luminen per l'alimentació de la bateria de 24 V.

El disseny mecànic d'aquesta llum ve donada per la carcassa del model de llum 407 de la casa *Arcol*. Es tracta d'una empresa fabricant de retrovisors i accessoris per a autobusos i també desenvolupen components elèctrics i plaques PCB. S'ha pogut comptar amb el seu ajut com a col·laboradors en el disseny de la TSAL, tant per la part mecànica com l'electrònica. Al tractar-se d'una llum intermitent d'un autobús, és una cúpula prou gran com per inserir la placa PCB on les fileres de LEDs vermells i verds són instal·lats. El seu suport es tracta d'una peça mecanitzada pel propi equip, la qual s'adapta a la curvatura de l'arc del *Main Hoop* (veure figura 24) que es tracta de l'arc més alt del vehicle que arriba per sobre del cap del pilot, on la cúpula es subjecta al suport per dos cargols, ja que el suport adopta la mateixa forma que la base de la carcassa de l'intermitent, i aquest conjunt es subjectarà al xassís amb una soldadura entre l'arc i el suport.

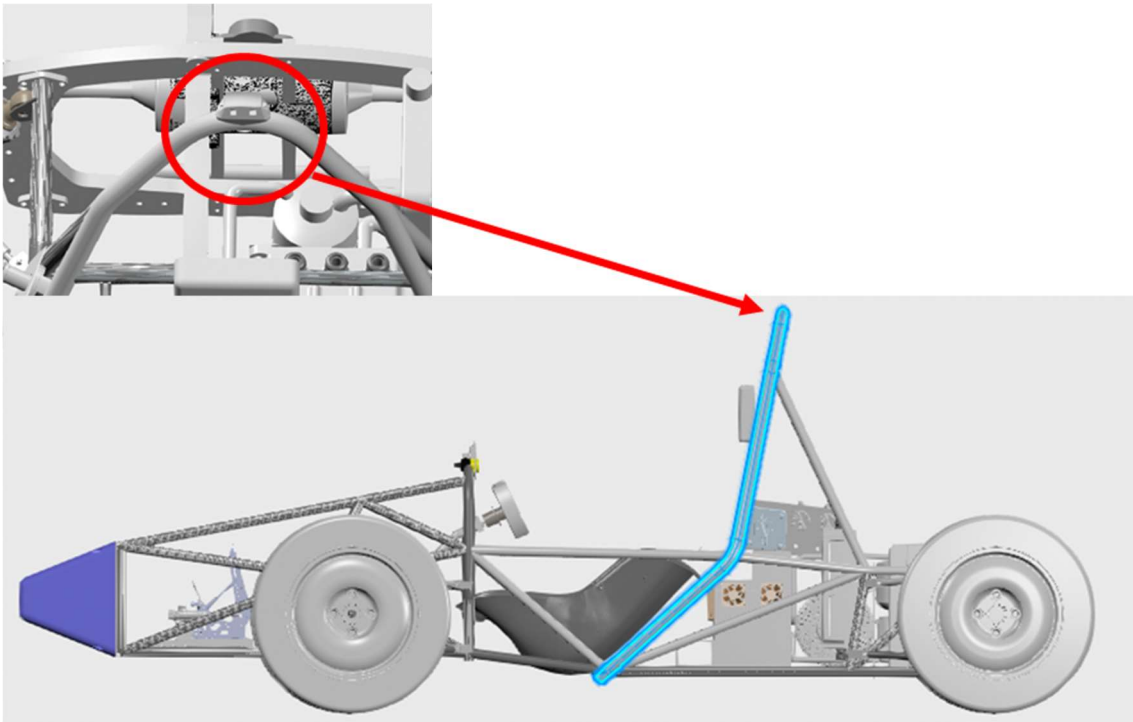


Figura 24.- Localització de la TSAL al Main Hoop

Un avantatge que suposa utilitzar aquesta carcassa que proveeix *Arcol*, es que no suposa una gran alçada, ja que queda per sota dels 150 mm, i per tant, compleix la alçada màxima de la llum, i així evitar entrar en contacte amb el cap del pilot, i que aquest, no interfereixi en l'abast de la llum des de qualsevol angle de visió del vehicle.



Figura 25.- Suport de la carcassa de la llum TSAL, model 407 dels pilots d'Arcol

3.4.5. Dispositiu de monitorització d'aïllament (IMD)

El dispositiu de monitoratge d'aïllament, o *Insulation Monitoring Device* (IMD), és l'element encarregat d'assegurar l'aïllament mínim entre el sistema d'alt voltatge (*Tractive System o TS*) i el sistema de baix voltatge (*Grounded Low Voltage o GLV*). D'una manera col·loquial, el IMD es comporta d'una forma semblant a l'interruptor diferencial que està instal·lat en els habitatges familiars o altres establiments, s'encarrega d'assegurar que no existeix cap derivació de corrent a massa. Això es pot veure, calculant el corrent que entra per la fase de la instal·lació i comparant-lo amb el corrent que surt pel neutre (en els sistemes monofàsics). Si existeix una diferència de corrents entre tots dos, major que l'estipulada en el rang de l'interruptor diferencial específic, aquest obre el circuit i deixa sense alimentació a l'establiment o habitatge.

Doncs bé, el dispositiu de monitoratge d'aïllament es comporta d'una forma molt semblant, només que aquest, pot veure la possible derivació de corrent al xassís del vehicle que prové del sistema d'alt voltatge. A causa de la complexitat del sistema i a la importància que l'element triat sigui l'adequat per a aquesta aplicació, la competició *Formula Student* suggereix un tipus de IMD específic per a què s'instal·li en tots els vehicles de la competició.

El IMD suggerit per la competició és el model *A-ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 o 3204* de la marca *BENDER*. El *ISOMETER iso-F1 155-3203/IR155-3204* vigila l'aïllament entre el conductor d'alt voltatge del sistema de tracció i la terra mesurada o massa del vehicle. Mitjançant la tècnica de mesura patentada per la marca, es vigila l'aïllament en el costat de tensió contínua i de tensió alterna del sistema de tracció. La fallada d'aïllament s'avisava de manera fiable, fins i tot quan hi han elevades interferències produïdes per processos de comandament del motor (acceleració, recuperació d'energia, etc.).

Les alarmes (fallada d'aïllament en el sistema d'alt voltatge, fallada de connexió,...) es proporcionen a través de la sortida amb separació galvànica (Nivell-Alt o Nivell-Baix). Existeixen tres sortides, unes sortida d'estat (OKhs) i dues sortides que proporcionen el valor de la mesura de l'aparell (MHS/*MLS). En el nostre model només tindrem les sortides "OKhs" i "MHS". La sortida d'estat senyalitza fallades, així com l'estat del sistema. La sortida del valor de mesura dona el valor actual d'aïllament. També és possible identificar en la sortida del valor de mesura entre diferents avisos de fallada o estats de l'equip, ja que estan codificades en la freqüència basi. Al document de les dades tècniques d'aquesta placa, ens mostra un esquema que il·lustra molt bé la seva connexió i funció, que es mostra ara a la figura 26:

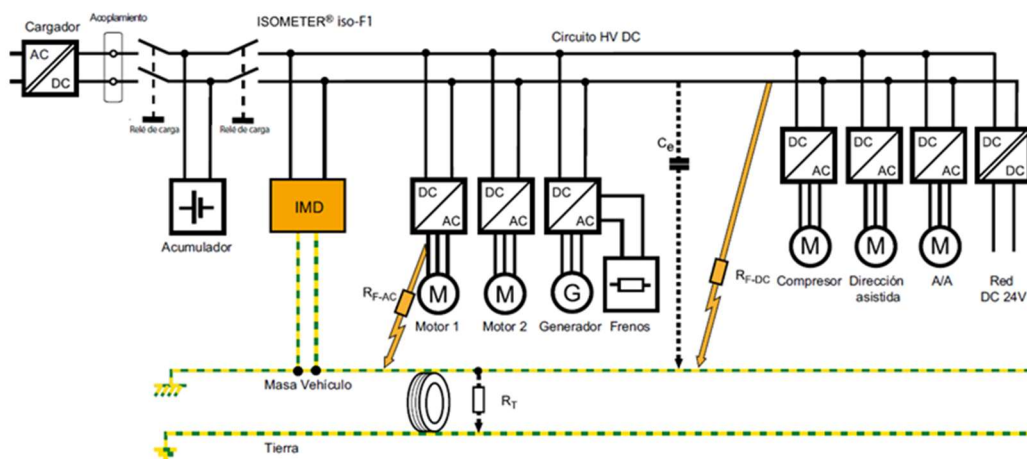


Figura 26.- Aplicació típica de la placa Bender IR-155

3.4.6. Interruptors del sistema

Els interruptors que hi ha al sistema de seguretat són molts i ben diversos, per tal de poder adaptar-se a les necessitats de cada part del circuit. A continuació, s'exposen quins són els tipus d'interruptors que s'emprenen i quina seran les seves funcions.

Primer, es tractaran els botons d'emergència. Per complir amb la normativa, s'han d'instal·lar un total de tres. Tots tres han de complir amb la funció d'obrir el sistema de tracció de l'acumulador al pressionar-los. Dels diversos tipus que n'hi ha, han de ser de tipus *push-pull* o *push-rotate*, per tant, no ha d'intervenir cap tipus de lògica programable. D'aquests tres botons d'emergència, dos han d'estar situats un a cada costat del vehicle a l'alçada del cap del pilot per darrera del *cockpit* o zona on seu el pilot. El seu diàmetre serà de 40 mm, i com la normativa europea dicta, deuen de ser indicats amb el símbol de l'espurna de color vermell en un triangle blau amb els contorns blancs. El tercer botó d'emergència, anirà situat en el panell del pilot que es troba dintre del *cockpit*. El seu diàmetre pot ser inferior, amb un mínim de 24 mm, i igual de senyalat que els altres dos amb el símbol internacional. Sobretot, és de vital importància que el pilot pugui accedir a aquest botó amb el cinturó posat, que sigui a prop del volant i que no hi hagi cap element obstruint pel mig.

A part d'aquests interruptors, la normativa demana incorporar dos interruptors màster. Un s'utilitza com a *Grounded Low Voltage Switch* (GLVMS), el qual desactiva completament l'alimentació del circuit de baix voltatge, sense cap relé o lògica programable. El tipus d'interruptor ha de ser rotatiu amb una clau desmuntable, per tal de no accionar-ho de forma accidentada al manipular el vehicle des de fora. La seva posició ha de ser al lateral dret del vehicle, per sota l'alçada del cap del pilot. A part d'estar degudament etiquetat per poder diferenciar-lo d'altres components, cal que l'eix de rotació de la clau estigui en posició horitzontal, on la posició ON serà horitzontal i la OFF vertical. L'altre interruptor màster s'utilitza com a *Tractive System Master Switch* (TSMS), el qual desactiva l'alimentació del circuit d'alt voltatge. Es tracta també d'un interruptor rotatiu, el qual ha d'anar situat just al costat del interruptor màster GLVMS, també degudament etiquetat i situant el seu eix de rotació igual que l'altre *Master Switch*.

El tercer interruptor que justament també va situat a la banda dreta del vehicle, es tracta del connector d'alt voltatge, o tal com surt a la normativa esmentat, *High Voltage Disconnect* (HVD). La funció d'aquest connector és poder tallar o obrir el pol positiu del circuit d'alt voltatge del sistema de tracció directament. També ha de portar un contacte auxiliar que obri al seu torn el circuit de seguretat. El connector ha de complir que pugui ser retirat per una persona aliena a l'equip i sense cap tipus de formació prèvia, en menys de 10 segons i sense l'ajuda de cap eina. El connector triat és el model 1587987-9 (Femella) i 2103172-9 (Masclle) de la marca *TE Connectivity*. És un connector tipus "push-pull", i com a mesura addicional, s'ha afegit aquest connector amb un fusible d'un rang de 250 Arms, igual que el rang dels fusibles del sistema de bateries de la marca *Cooper Bussman* que ja han sigut mencionats a l'apartat de l'acumulador de les bateries. A més d'això, també porta dos contactes auxiliars de baix voltatge que s'accionen alhora que el contacte d'alt voltatge. Com la resta de components, el connector d'alt voltatge ha d'estar degudament etiquetat. En cas que ocorri un accident, una de les accions que es realitza en primera instància és retirar aquest connector amb la major rapidesa possible, a més de desconnectar també els interruptors màster. Per normativa, la posició on ha d'anar instal·lat

el connector d'alt voltatge és per sobre de 350mm del terra i en una posició visible estant al voltant del vehicle.

Per finalitzar aquest apartat, es menciona a l'interruptor d'inèrcia, o com es diu a la normativa, *Inertia Switch (IS)*. Es tracta d'un dispositiu de seguretat que s'instal·la en el prototip per a protegir el sistema elèctric quan es produeix una frenada brusca deguda a un accident o col·lisió. Aquest dispositiu és un commutador automàtic que s'activa amb la influència de les forces G. El restabliment d'aquest interruptor s'ha de realitzar de manera manual mitjançant la pulsació del commutador del que disposa, on bàsicament es prem una bola metàl·lica que té en el seu interior fins que encaixa en el seu buit. El dispositiu consta de dos contactes, un normalment obert i l'altre normalment tancat. En el nostre cas, només es dona ús al contacte normalment tancat que anirà connectat en sèrie al circuit de seguretat del vehicle i que s'obre en cas d'una acceleració considerable i suficient per fer saltar l'interruptor d'inèrcia. Per tal que l'interruptor d'inèrcia pugui ser reinicialitzat o rearmat des del *cockpit*, s'instal·la al costat del pilot. Per a fixar-lo, s'ha utilitzat una platina soldada al xassís i l'interruptor caragolat a aquesta platina. A les següents figures (27 i 28) que es mostren, es veuen tots aquests interruptors situats en les seves respectives posicions:

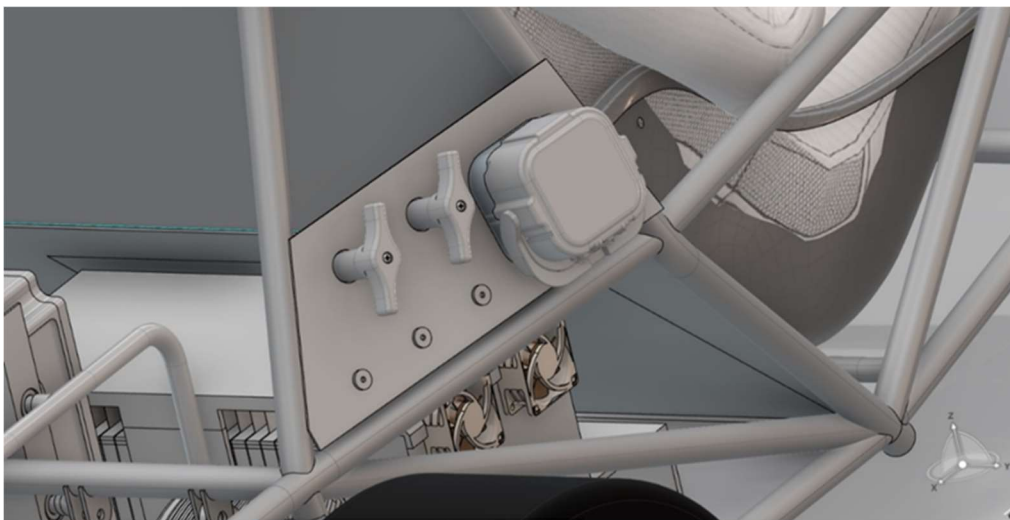


Figura 27.- HVD i interruptors màster situats al lateral

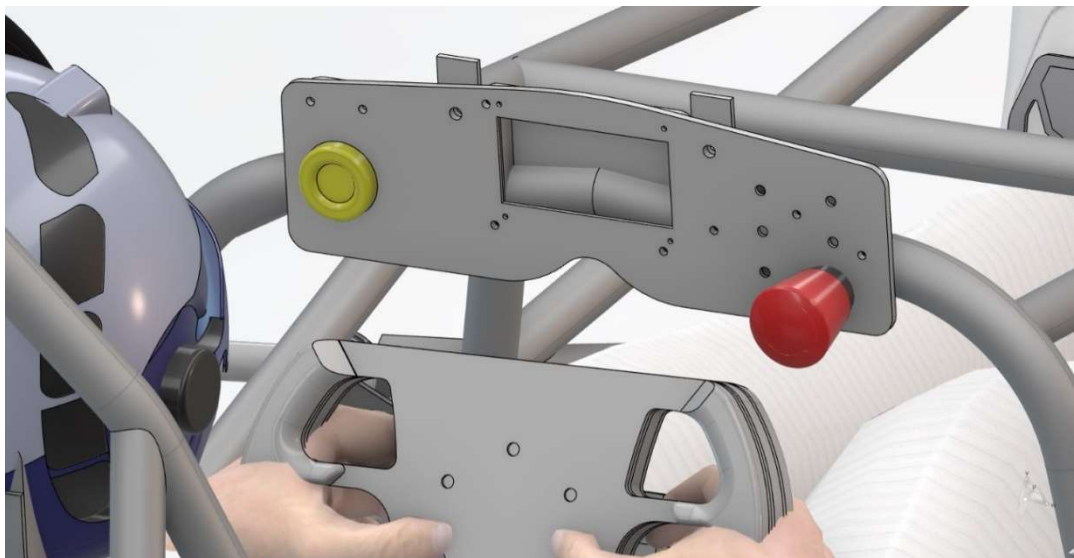


Figura 28.- Botó d'emergència situat al dashboard

4. Proves, resultats i discussions

En aquest apartat, s'exposa algunes proves que s'han realitzat en diferents apartats del vehicle, per tal de poder garantir el seu bon funcionament o bon disseny per implementar-ho més endavant. La major prova seria mostrar que el vehicle és completament funcional, però la seva construcció fins al dia d'avui, encara no s'ha finalitzat, ja que el departament de fabricació de l'equip *UTRON Racing*, encara no ha soldat el terra i suports dels components del tren de potencia al vehicle.

4.1. Motor elèctric

Només arribar el motor a les instal·lacions de l'equip, el primer que es va fer era comprovar el seu bon estat, ja que per reduir costos de l'equip, es va contactar amb un altre equip de *Formula Student* del País Basc, concretament el *FS Bizkaia*, per comprar-li aquest motor i la controladora electrònica, que ells ja no utilitzaven perquè aquest any han passat a 4 motors, un per roda. Si s'observa el *datasheet* del motor, surt el següent gràfic (veure figura 29) on mostra la potencia i parell al llarg de les revolucions del motor:

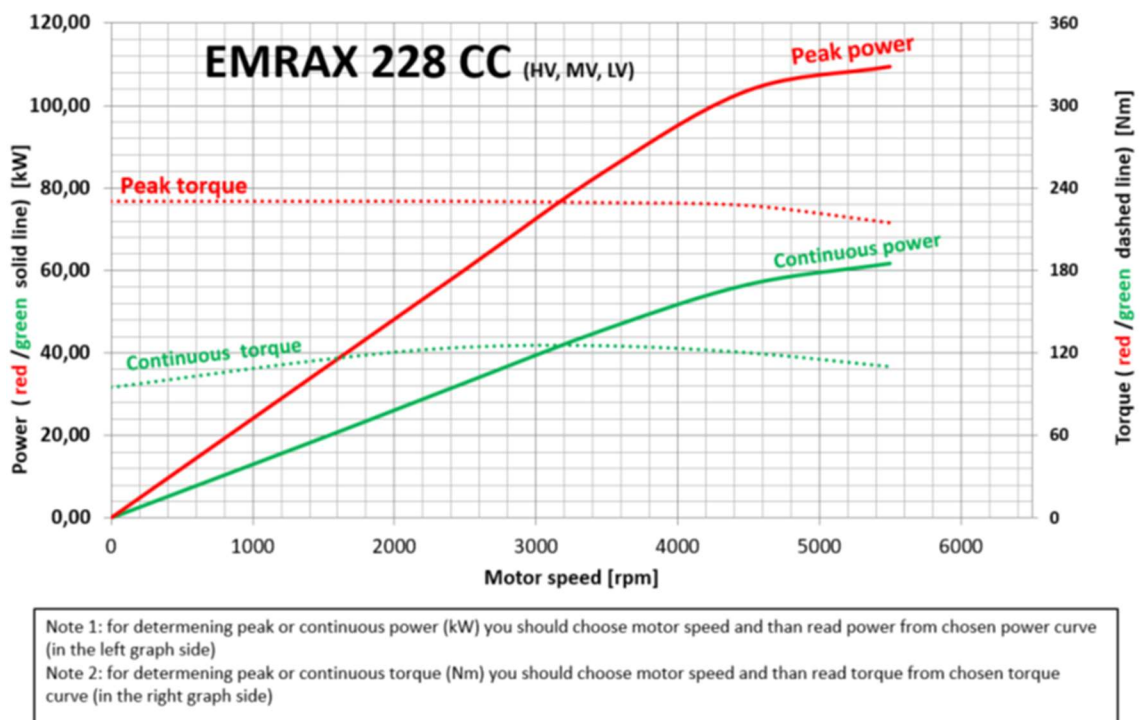


Figura 29.- Gràfica del rendiment del motor proporcionada pel fabricant EMRAX

QEV Technologies ens va cedir les seves instal·lacions per poder utilitzar el seu banc de proves de motors elèctrics, i així comprovar l'estat dels components que van arribar del País Basc. Com en aquell moment encara no es tenia l'acumulador de bateries finalitzat, QEV va aparellar diversos grups de bateries per tal d'obtenir les característiques que formen el nostre acumulador. A continuació, es mostren les Figures 30 (sistema de subjecció del motor) i 31 (imatge completa) per ensenyar aquest banc de proves. Sens dubte, es tracta d'una maquinària sobredimensionada pel nostre projecte, ja que aquest banc l'utilitzen per verificar i comprovar el tren de potencia de vehicles com el *Hispano Suiza Carmen* o el *Odyssey 21* de la competició *Extreme-E*.

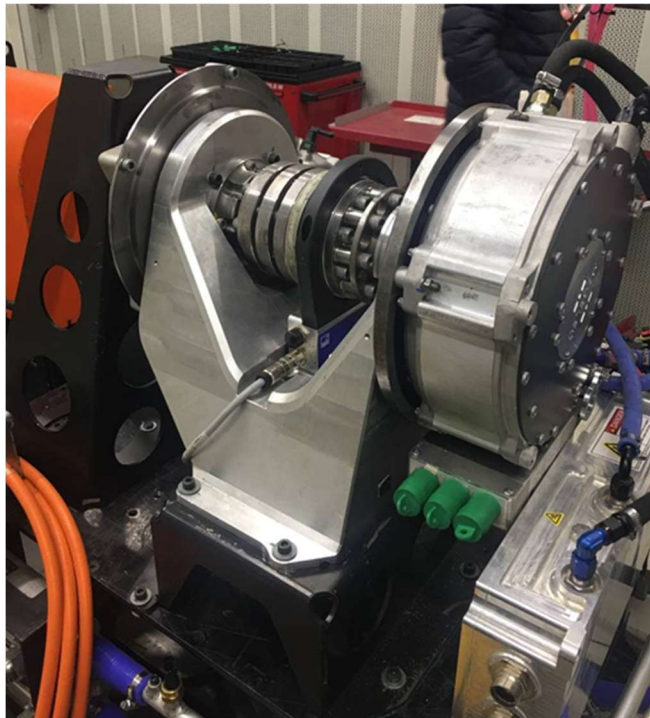


Figura 30.- Zona de subjecció del motor del banc de proves de QEV



Figura 31.- Accessori adjunt al banc de proves per simulacions realistes del motor

Cal destacar que incorpora un software propi, el qual permet simular friccions d'asfalt, canvis de marxa (en el cas de motors més potents) i pes que tindria el prototip amb el pilot en ell, per tant, es poden obtenir simulacions incloent moltes variables per poder fer-la lo més real possible.

Per tal d'aprofitar aquesta oportunitat única, es va fer ús d'aquest banc de proves, i es va programar un codi per tal de provar el motor a la prova d'*Acceleration* (recórrer 75 metres partint d'estar quiet). Aquest programa consisteix en dissenyar una petita rampa d'augment del

valor del parell, per tal que les rodes no llisquin sobre si mateixes al sortir amb tanta força, i aconseguir fer-lo girar al màxim durant el que representaria els 75 metres que s'han de recórrer.

La figura 32 consisteix en la gràfica obtinguda en el simulador del banc de proves, per veure l'estat del motor respecte a la seva potencia i parell continu.

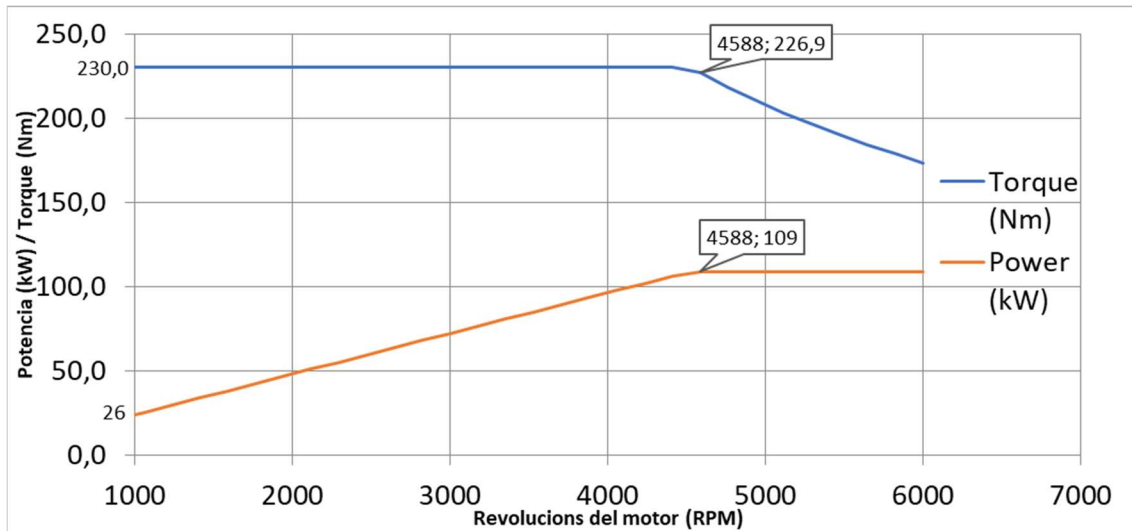


Figura 32.- Gràfica de potencia i parell del motor al banc de proves

Comparant les gràfiques de la figura 29 (gràfica del fabricant EMRAX) i la figura 32 (gràfica obtinguda en el banc de proves), s'observa que gairebé no han passat factura els dos anys d'ús per part de l'altre equip. També cal destacar que els testos i la competició de Formula Student no solen ser de tants kilòmetres acumulats o tantes sessions com solen ser les d'altres competicions com la *Formula 1*. Per tant, aquest motor porta acumulats molts pocs kilòmetres. La inspecció dels rodaments interns també va mostrar que al motor se li va donar un bon ús, i per tant, es descarta la possibilitat que els aïllaments dels bobinats estiguessin danyats, podent provocar la pèrdua de la magnetització dels imants permanents.

Pel que fa al parell del motor, es veu que el màxim continua sent de forma exacta 230 Nm. Com a molt, el que es pot percebre, és que aquest es ve abaix una mica abans del que indica el fabricant, però tot i així, tenir aquests valors a les 4588 RPM és un molt bon resultat. Pel que fa a la potencia entregada del motor, es pot observar que la progressió d'aquesta al llarg de l'augment de les revolucions del motor, s'ha vist reduïda, on en comptes de continuar pujant quan comença a caure el parell màxim, aquesta es queda estancada en el valor de 109 kW. Per sort, com la normativa ens estableix una entrega màxima de 80 kW, la qual s'obté limitant el motor amb el software de la controladora electrònica, ens permet que en cada revolució, el motor entregui la màxima potencia i evitar pèrdues de potencia que desgastin més la bateria.

La prova d'acceleració és la que més esforç instantani demana al motor, ja que es fa sencera exigint el màxim del motor. Tot i que no es pot menysprear a la prova d'*Endurance*, la qual hi

entren moltes altres variables que fan que sigui la més complexa amb diferència de totes les proves dinàmiques..

La gràfica d'acceleració que es representa a la figura 33, mostra una mitjana de quatre proves fetes, és a dir, el total que es faran el dia de la competició. A l'[Annex L](#), s'adjunten totes les variables considerades per fer les simulacions. També es mostren algunes dades ja automatitzades com l'acceleració de 0 a 100 km/h, o la distància recorreguda dintre de diversos rangs de velocitats.

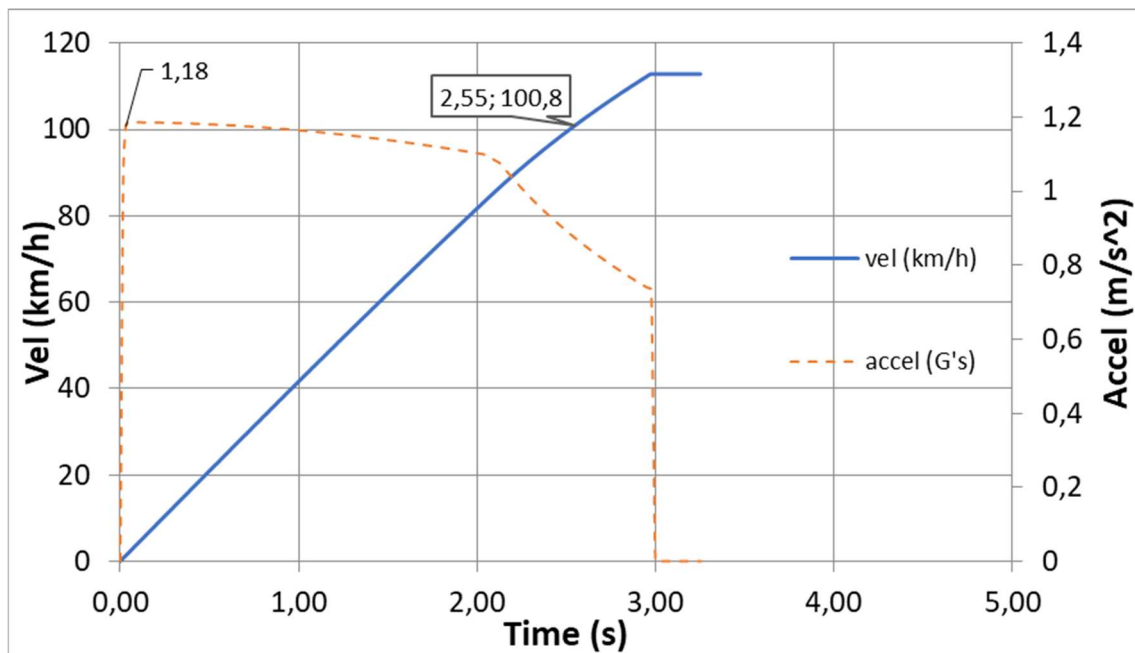


Figura 33.- Gràfica de l'acceleració i forces G simulades del nostre prototip

Observant aquest gràfic, el nostre prototip hauria d'accelerar de 0 a 100 km/h en menys de 2,55 segons, en cas de fer una sortida perfecta com era el cas de les simulacions. Per tant, cal tenir en compte el temps de reacció dels pilots, on es podria considerar sumar-li entre unes tres i nou dècimes de segons. Tot i això, s'obtingria un temps de 2,8 a 3,5 segons, és a dir, que tindria la mateixa acceleració que models de cotxes tant ràpids com el *Tesla Model S P85D Ludicrous* o el *Ferrari 458 Italia* (segons afirmen aquests fabricants). Però cal tenir present que el nostre vehicle es troba molt per sota de la tona que pesen aquests vehicles, i que la nostra velocitat punta és de 120 km/h, a diferència dels 250 km/h del Tesla o els 325 km/h del Ferrari. També es pot apreciar que el pilot quan estigui accelerant, patirà la força d'aproximadament 1,2 Gs, que venen donades gràcies a l'entrega immediata del màxim parell del motor sobre les rodes del vehicle al trepitjar l'accelerador.

Una segona prova que s'ha pogut esdevenir gràcies al banc de proves tant potent i complet del que disposa *QEV Technologies*, es pot arribar a simular fins i tot, les forces que patiran els pneumàtics i el cotxe (veure figura 34). A partir dels mateixos inputs que s'han presentat a l'[Annex L](#), s'obté també el següent gràfic de la força exercida sobre els pneumàtics i com s'aprofita en benefici del prototip.

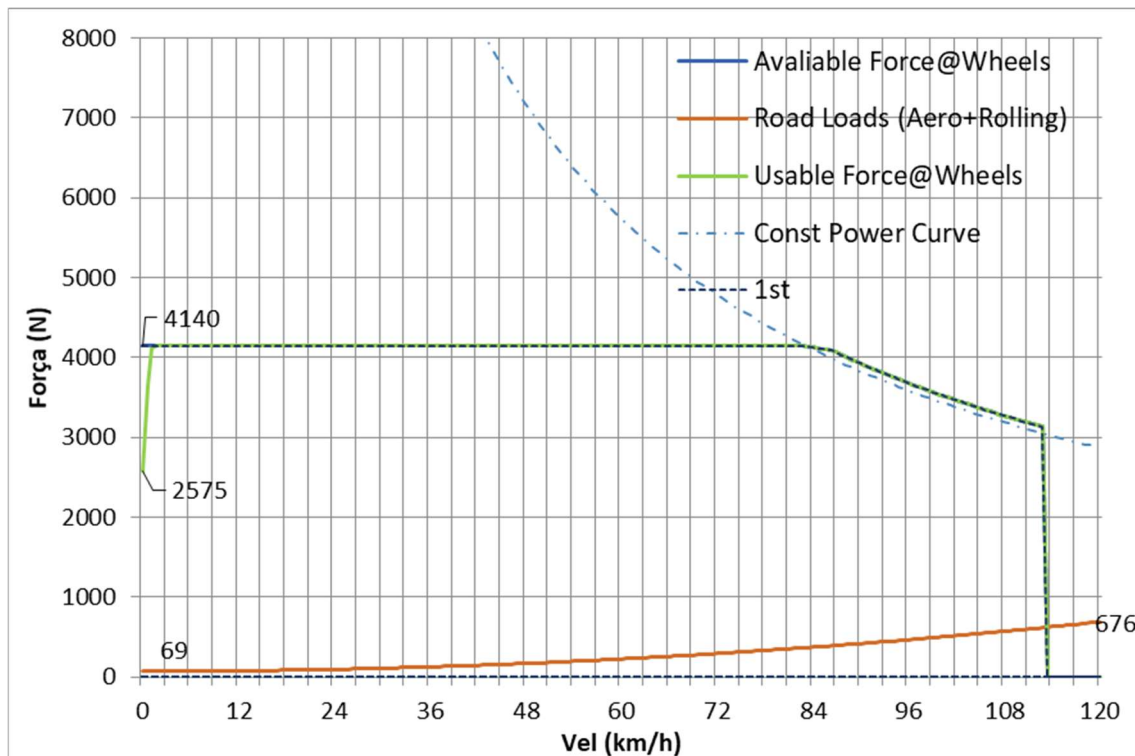


Figura 34.- Gràfic de la força exercida a la simulació de la prova d'Acceleration

A partir d'aquest gràfic, es mostra la rampa dissenyada per part de la controladora, per no disposar del parell màxim del motor de forma instantània. La línia verda representa la força que exercirien els pneumàtics en aquesta prova. Tot i que es veu que el màxim de força que exerceixen les rodes és de 4140 N, es veu com al principi, es parteix utilitzant només 2575 N. Això ve donat per la rampa d'entrega de parell dissenyada prèviament amb la controladora electrònica.

Com ja s'ha comentat al principi de tot, per tal de simplificar el disseny del vehicle i reduir el pressupost de l'equip, es decideix prescindir de qualsevol tipus d'accessori extra aerodinàmic com alerons o pompons laterals, on l'únic element que ens permet fluir l'aire una mica, és la punta del morro del vehicle, on té la forma de fletxa (forma donada per la instal·lació de l'atenuador d'impactes com s'aprecia a la Figura 23). Per tant, per això la força que empeny el cotxe contra el terra per part de l'aire, és menor als 1000 N (concretament 676 N) que comencen a actuar al punt de màxima velocitat. Sens dubte, aquest punt s'ha de millorar en un futur, per tal de poder reduir el temps d'acceleració, i poder aprofitar més força dels pneumàtics a l'arrancada del vehicle.

Observant les línies discontinues que apareixen, això són uns paràmetres pensats per a quan es fan proves de motors amb caixa de canvis. Nosaltres per tal de simplificar el disseny del tren de potència, reduir espai i pressupost, i a part com no es tracta d'un motor molt potent al qual se li pugui exprimir molt, es va decidir prescindir de caixa de canvis. A més, amb la controladora, es poden dissenyar diversos mapes de motor, els quals poden modificar els valors de les revolucions del motor, d'acord a paràmetres externs del vehicle. Al tractar-se d'un àmbit molt tècnic i complicat, es decideix anar amb el mapa predeterminat de la controladora, i comptar amb una única marxa.

4.2. Circuit del sistema RTD

Després de saber com deu comportar-se el nostre sistema per fer funcionar el nostre prototip com es mostra a l'[apartat 3.4.1.](#), es comprova que funciona tal com s'ha dissenyat.

Per a comprovar el sistema i tenir una simulació visual d'aquest, s'opta per realitzar la programació mitjançant el programa de National Instrument anomenat LABVIEW. LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) és un entorn de desenvolupament basat en programació gràfica, per tant, utilitza símbols gràfics en lloc de llenguatge textual per a descriure accions de programació.

Després realitzar el programa des de l'ordinador, s'ha establert la comunicació entre l'Arduino i el programa amb USB. La programació d'aquesta simulació és pràcticament igual a la programació amb codi escrit que s'ha utilitzat per a les proves reals. Aquesta simulació és de gran ajuda ja que s'observa de manera visual com es comporten els diferents elements que tenim connectats al nostre sistema, com per exemple, la tensió que està mesurant el transductor de pressió del pedal de fre o el senyal digital del botó de START. També s'obté l'estat en el qual es troben les sortides del nostre microcontrolador com poden ser el buzzer, LEDs indicadors o estat dels relés. El resultat visual del panell es mostra a la figura 35, on podem veure com es veuria el menú principal con a cada configuració, es veuen les característiques que el pilot desitgi, ja sigui la velocitat del vehicle o el voltatge del sistema de tracció. A més, a la figura 36 es mostra una recreació visual del connexionat d'aquest sistema, ja que a la figura 35 no s'aprecia del tot bé al voler mostrar la pantalla:



Figura 35.- Pantalla del dashboard

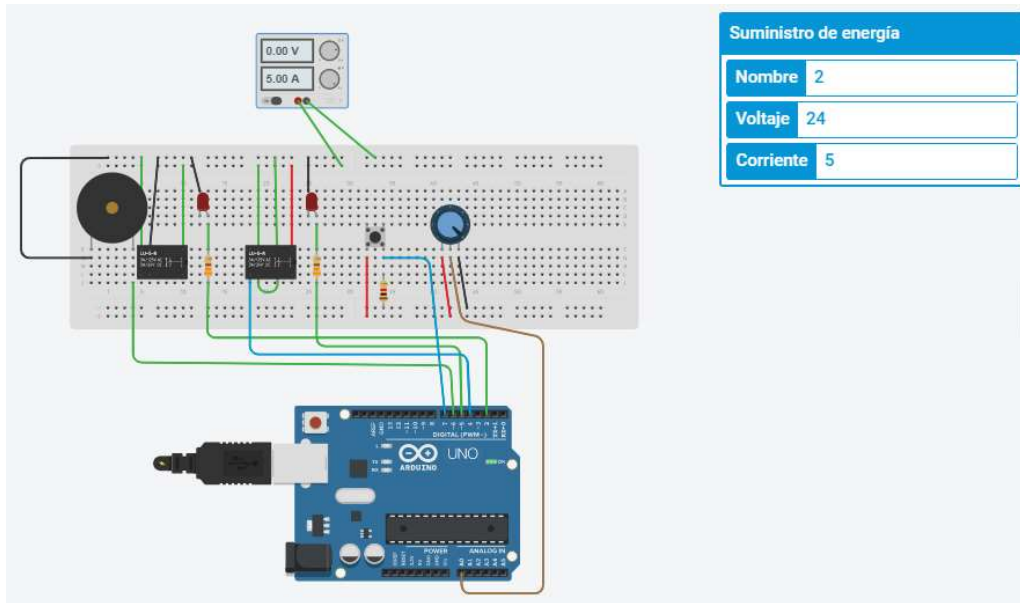


Figura 36.- Circuit aïllat del sistema d'activació del prototip

En aquest cas, nosaltres per tal de poder comprovar que el circuit complís amb la seva funció, vam col·locar un díode LED, que ens indicaria si la sortida s'alimentés, i per tant, activéssim el relé que volguéssim utilitzar, per tal de poder tancar tot el circuit, i permetre l'alimentació del circuit del sistema de tracció.

Com es mostra a la figura 37, es troba la distribució dels diversos components situats al dashboard o panell del pilot. El quadrat central serà per la pantalla LCD on es mostraren els valors desitjats pel pilot, i a la banda dreta, tot ple de LEDs indicadors degudament etiquetats i el pulsador START per activar el vehicle.

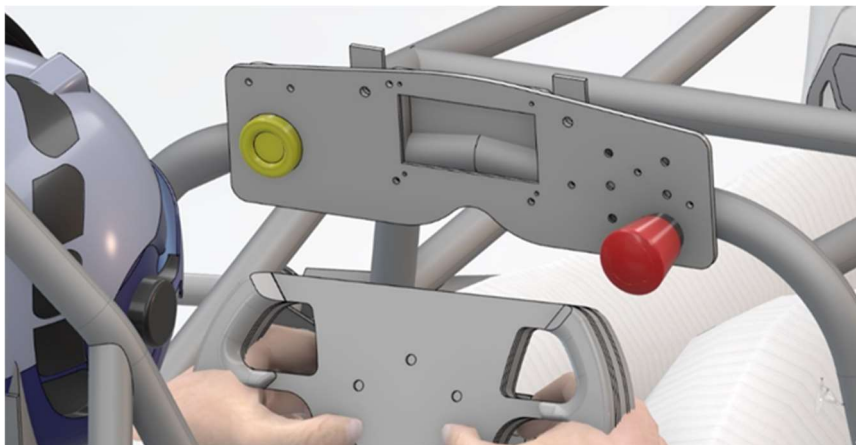


Figura 37.- Dsitribució components del dashboard

4.3. Circuit del sistema de plausibilitat del sistema de fre (BSPD)

Per comprovar la funcionalitat de la placa abans d'enviar-la a fabricar, cal comprovar que compleix amb la funció especificada. Per tal de poder veure-ho en detall, s'ha utilitzat el programa Multisim, per tal de poder tenir la vista del circuit en un oscil·loscopi, com dels que disposem al laboratori de la Universitat. A la figura 38, s'observa la representació del circuit dissenyat, on els interruptors al tancar-se representen una trepitjada agressiva del pedal de fre o el pedal d'acceleració. A més, les finestres dels oscil·loscopis, ajuden a mostrar si a la sortida del circuit, circula corrent o no, i així determinar el bon funcionament del circuit.

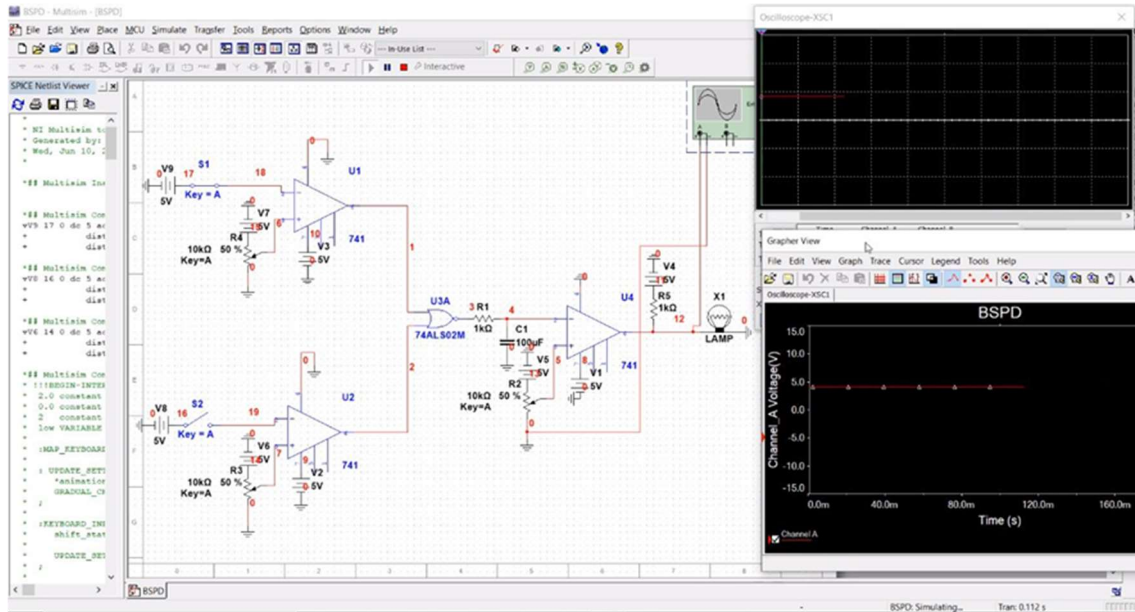


Figura 38.- Simulació del circuit del BSPD sense forçar un error

Es pot considerar l'interruptor S1 com el pedal de l'accelerador a més del 25%, i l'interruptor S2, el pedal de fre trepitjat a més del 50%. En el cas de la figura 38, s'aprecia com simula que el cotxe està accelerant, on no hi ha cap acció brusca del pilot que pogués afectar a la integritat física del motor o qualsevol altre component en moviment. A l'oscil·loscopi virtual, es veu que a la sortida hi ha voltatge, significat que el circuit no s'ha obert, i per tant, el sistema de tracció continua trobant-se actiu. Ara a la figura 39, es mostra que passaria, si de cop, el pilot trepitgés bruscament tots dos pedals, o en el cas d'aquesta simulació, es tanquessin els interruptors S1 i S2.

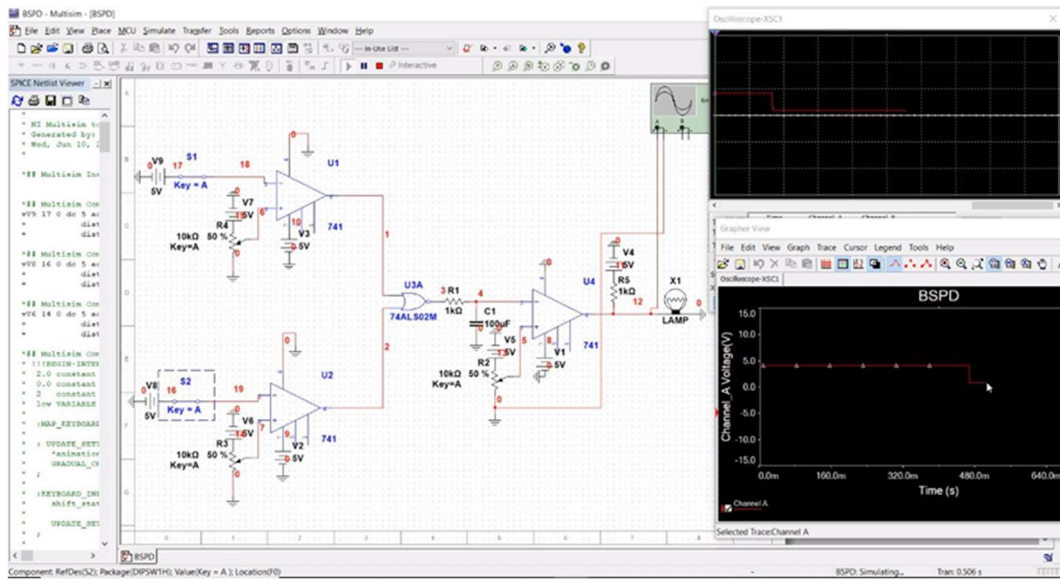


Figura 39.- Simulació del circuit del BSPD forçant un error

En aquest cas, el cursor de la captura de pantalla ens indica que a la sortida ja no circula voltatge, significat que s'ha obert el circuit de seguretat, i per tant, deixa d'alimentar el sistema de tracció i para el vehicle per evitar algun problema major.

Per tant, ha quedat comprova que el disseny del nostre circuit compleix perfectament amb els requeriments de seguretat establerts per la normativa, quedant la placa definitiva com es mostra a la figura 40:



Figura 40.- Placa del BSPD i reset de l'IMD

4.4. Sistema de gestió de les bateries

Tot aquest control que s'esdevé sobre el que succeeix a la cel·la, passa per una mateixa placa. Per tant, és crucial que es tingui en compte que tant el software com el hardware, estiguin comprovats i revisats. Per tant, abans d'implementar totes les cel·les dintre de l'acumulador, es decideix agafar un grup de sis cel·les i comprovar el seu estat. El petit banc de proves que es va muntar, és el següent que es mostra a la figura 41:

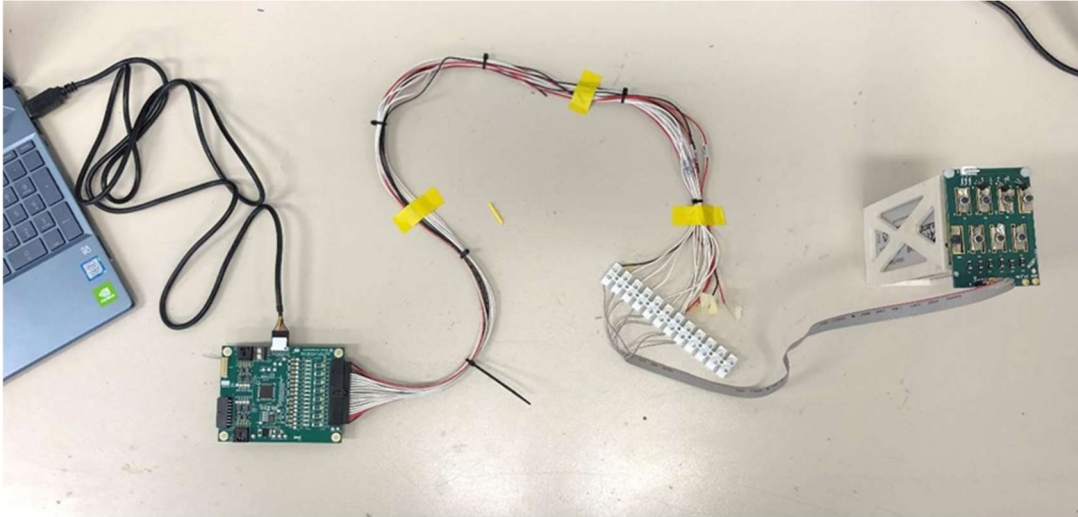


Figura 41.- Test de la placa BMS amb sis cel·les

La configuració d'aquest IC es fa mitjançant l'enviament d'ordres a través d'UART des del microcontrolador amfitrió a l'IC. Aquestes ordres estan en el full de dades, però hi ha moltes ordres que no són crucials per al correcte funcionament de l'IC. A més, cada ordre també té les seves variants depenent del nombre d'IC al tauler. Per tal d'obtenir correctament aquestes ordres, es necessita una bona plataforma de prova. Texas Instruments té el seu propi consell d'avaluació per a aquest IC, el BQ76PL455EVM. A més, el fabricant també proporciona al client una interfície gràfica per a les proves d'aquest tauler d'avaluació. Aquesta IGU ofereix a l'usuari la possibilitat d'introduir manualment les ordres i veure la resposta de l'IC a aquesta ordre.

Per a la prova, els voltatges d'aquestes cèl·lules es van registrar amb la interfície gràfica per saber si les lectures estaven bé quan es provaven les ordres. Les lectures de voltatge de la interfície gràfica es poden veure a continuació:

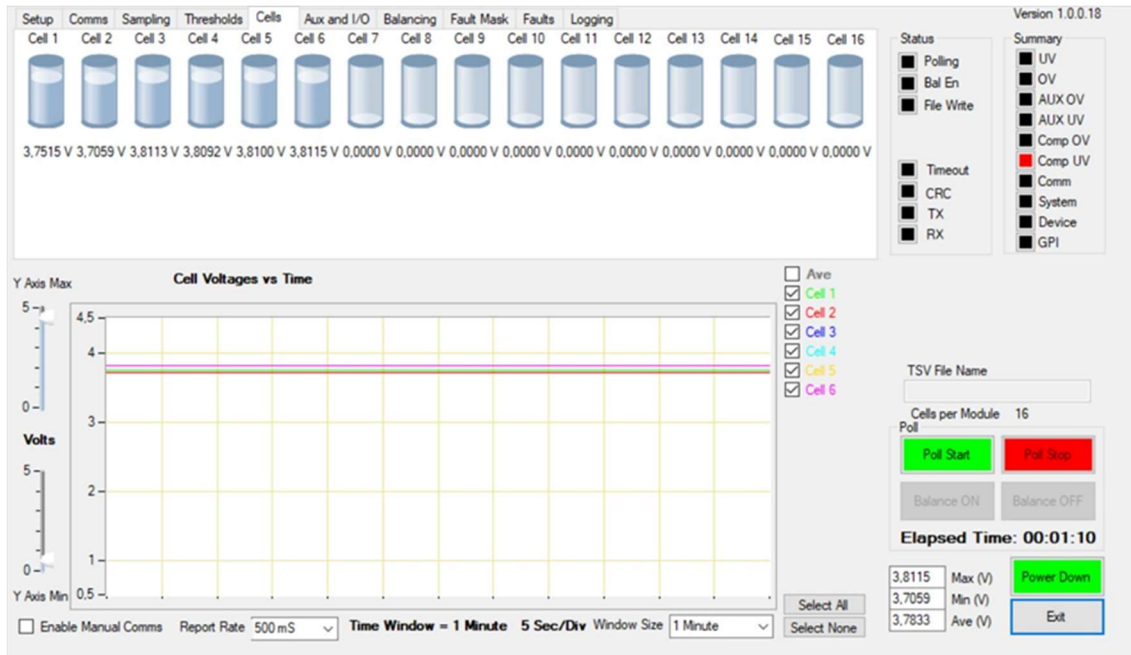


Figura 42.- Vista del programa GUI emprat per la simulació del BMS

Després es van provar les ordres manuals. Es van necessitar moltes iteracions fins que es van aconseguir les lectures de voltatge, però finalment, la seqüència i les ordres es van aconseguir amb èxit. El següent pas va ser el de fabricar el mòdul esclau i provar el programari utilitzant el microcontrolador d'aquest tauler, però com que la fabricació del tauler no ha estat possible i no hi havia disponible un altre tauler amb el mateix microcontrolador, tot el programari ha estat desenvolupat i provat en el tauler de desenvolupament de Texas Instruments utilitzat per al mòdul mestre del BMS, el LAUNCHXL-F28379D. Atès que un futur objectiu per a l'equip hauria de ser implementar aquest mòdul esclau utilitzant el microcontrolador del mòdul mestre, aquest és un procediment molt lògic, que no sols servirà per a la prova d'aquest IC, sinó també per a reunir coneixements sobre la programació d'aquest dispositiu en codi C.

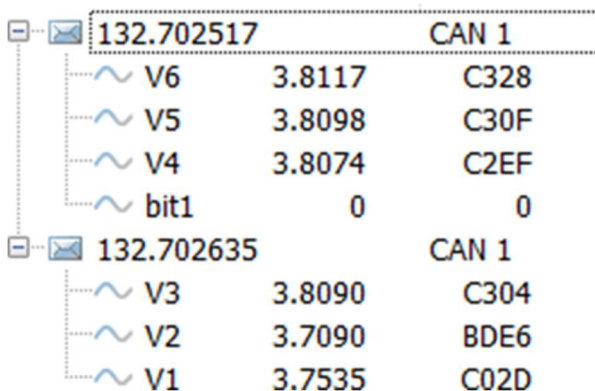


Figura 43.- Mesura del voltatge que circula per les cel·les obtingut amb CAN

Quan s'utilitza el microcontrolador f28379D, no serà possible utilitzar la interfície gràfica del mòdul d'avaluació, i per tant, es necessita un altre mètode per visualitzar les lectures de l'IC. Per a això, les lectures dels voltatges s'envien des del mòdul d'avaluació al f28379D via UART, llavors, les lectures es reboten al bus CAN del microcontrolador. Tot seguit, el bus CAN és connectat a la interfície de xarxa CAN utilitzada en el vehicle, el VN1630 de Vector, de manera que el bus CAN pot ser visualitzat en un ordinador. En la figura 40, es poden veure les lectures de voltatge.

Els resultats obtinguts de la GUI i del f28379D són gairebé iguals, de manera que el programa dissenyat es podria considerar com a vàlid.

Una vegada que s'aconsegueixen les característiques crucials de l'IC, es poden provar més característiques, com la característica d'equilibri cel·lular. Per això, es va seguir el mateix procediment, primer les ordres es van provar amb la finestra d'ordres manual de la IGU, una vegada validades, les ordres es van implementar en el software f28379D. Quan les cèl·lules estan equilibrant, els LEDs dels llums equilibradors s'il·luminen en el mòdul d'avaluació per a la confirmació visual.

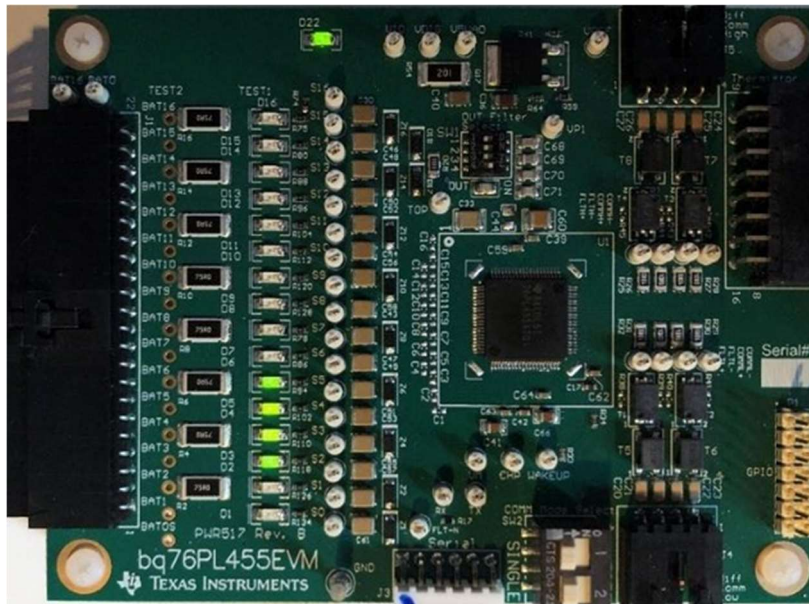


Figura 44.- Referència visual de la placa

A més, una altra característica que el disseny ha de tenir, és la detecció d'un temps d'espera de les comunicacions, per exemple, quan el cable TX o RX del UART està desconnectat. Per tant, la prova era tan simple com desconnectar un dels dos cables de la placa f28379D, i com s'esperava, el microcontrolador va detectar el temps d'espera i va establir els voltatges de la cel·la a 0 V. Aquesta característica és de vital importància per a la seguretat del conductor, ja que si les comunicacions estan desactivades, el BMS no sabrà l'estat real de les cel·les de la bateria i, per tant, no ha de ser possible executar el vehicle en aquestes condicions. D'altra banda, aquesta és una de les múltiples proves que els escrutadors faran per a passar l'acumulador de control en la competència.

5. Conclusió

Finalitzada tota la part descriptiva de la memòria, on s'ha presentat el disseny de la proposta, així com la seva realització, procedim a introduir les conclusions d'aquest projecte. De nou, es vol recalcar que aquest treball té una meta de finalització per la primera setmana d'agost, just quan l'equip de *Formula Student UTRON Racing*, participarà en la primera edició a la Formula Student Spain al Circuit de Barcelona-Catalunya.

Dit això, a continuació es presenten les conclusions del treball. En primer lloc, s'introdueixen els resultats i conclusions en relació als 4 objectius principals del projecte inicialment definits. Posteriorment, es presenta una conclusió general del projecte. I finalment, en l'apartat 5.1, es presenten algunes imitacions trobades en l'execució del projecte, així com possibles millores a tenir en compte en el futur.

1) Objectiu 1: Disseny i fabricació de l'acumulador de bateries per poder alimentar al motor i controladora del vehicle. L'acumulador de les bateries s'ha dissenyat dintre del rang de temps per poder avaluar-se en aquesta memòria. Les nostres estimacions calculades per obtenir una alimentació idònia al motor i controladora, s'han validat experimentalment. Això ho hem pogut comprovar al poder fer actuar el nostre motor en el banc de proves de l'empresa *QEV Technologies*. Pel que fa als resultats obtinguts, són valors bastant competius tenint en compte els altres equips que hi participen. Però tot i així, encara queden molts aspectes per poder millorar el rendiment del prototip, tant a la part mecànica com a la part electrònica, cosa que comentarem a l'apartat de futures millores. A dia d'avui, quedem a l'espera del mes de juliol, on podrem implementar el sistema de tracció al monoplaça, i serà quan podrem comprovar quines son les pèrdues que provoca la transmissió per cadena a l'eix posterior, i poder corroborar els càlculs que hem obtingut. Tot i així, el sistema per si sol s'ha pogut completar i fer funcionar.

2) Objectiu 2: Assegurar la legalitat, seguretat i funcionament del sistema de tracció a través de la normativa de *Formula Student Spain*. En tot moment al llarg del procés de disseny i fabricació, a cada pas i decisió que s'ha pres al llarg del projecte i de la temporada, s'ha revisat la normativa, per assegurar-nos el seu compliment. Cal recalcar la importància que té, no només per poder passar les proves de scrutineering (inspeccions tècniques del vehicle) i poder participar a les proves dinàmiques, si no a més, per garantir la seguretat del pilot i l'entorn del vehicle. A més, hem inclòs en els annexos, alguns apartats i resums de la normativa per poder comprovar que es compleixen tots els punts dels diferents subsistemes que consten el sistema de tracció i el circuit de seguretat. I com a extra per reafirmar l'assoliment d'aquest objectiu, el document que l'organització ens demana omplir (*Electric System Form o ESF*), ens serveix com una pauta més per poder reafirmar que en tot moment hem establert allò que la normativa ens obligava per poder aprovar el factor de la seguretat del nostre vehicle.

3) Objectiu 3: Disseny i fabricació del circuit de seguretat del vehicle. -Com s'ha pogut comprovar al llarg de la memòria, el circuit de seguretat compleix amb els

requeriments bàsics que ens diuen a la normativa, i amb la distribució de components tal i com ens recomanaven. A més, s'ha pogut demostrar el correcte funcionament de tots els subsistemes d'aquest circuit. La seva implementació en el vehicle, a dia d'avui encara no s'ha executat, però el fet de comprovar el funcionament dels sistemes per separat, es un primer pas de cara a quan estigui tot assemblet i situat, on esperem que el seu funcionament serà el desitjat.

4) Objectiu 4: Disseny i fabricació del sistema de gestió de les bateries, així com les futures línies de treball per la seva millora. L'últim objectiu que ens vam marcar, va ser el de desenvolupar un sistema que ens servis per poder gestionar i monitoritzar les cel·les que consten l'acumulador. A l'apartat de disseny, sens dubte aquest punt el podem considerar com assolit. Ja que amb un microprocessador, vam poder implementar el software que calia per poder controlar les temperatures i voltatges de cadascuna de les cel·les. Actualment, sobre les dates en les que s'està lliurant aquesta memòria, la totalitat de les cel·les encara no ha sigut monitoritzades, ni tampoc han sigut totes instal·lades dintre de l'acumulador ni interconnectat els diferents mòduls entre si. Aquest pot ser l'apartat que hagi pogut quedar una mica més ambigu, però almenys com a la resta d'apartats, el seu disseny s'ha pogut finalitzar i verificar, ja que el seu circuit intern també s'havia d'adjuntar en el document del ESF.

Fent un repàs general del projecte, podem concloure que satisfactòriament, hem pogut assolir l'èxit en aquest treball, o almenys, que anem en la direcció adequada per poder assolir un vehicle funcional de cara a la primera setmana d'agost. Personalment, hagués pogut ser més satisfactori si tot aquests components i circuits s'haguessin pogut implementar dintre del vehicle, i poder comprovar el seu funcionament, fins i tot de cara al vídeo de presentació d'aquest Treball de Fi de Grau. Però lamentablement, les fites marcades del projecte no han pogut realitzar-se per poder coincidir aquest assoliment per principis de juny. Tot i així, a qui llegeixi aquesta memòria, els convido a seguir els passos de l'equip *UTRON Racing* la primera setmana d'agost de 2021 al Circuit de Barcelona-Catalunya, on es podrà veure el vehicle en moviment i competint per primer cop.

5.1. Limitacions i millores a realitzar en projectes futurs

La principal limitació que ens hem trobat en el projecte, tant per aquest Treball de Fi de Grau com pel projecte de l'equip en general, ha sigut el pressupost de l'equip. Trobar empreses i col·laboradors que volguessin donar un cop de mà en un projecte d'aquestes dimensions ha sigut molt difícil. I encara més, si destaquem que aquest any ha estat molt marcat per la pandèmia mundial del *Covid-19*. Tot i així, aquesta limitació s'ha pogut resoldre bastant bé, al poder arribar a construir un primer prototip renunciant a certes innovacions o procediments que es volien implementar al principi de la temporada.

Una altra limitació ha sigut la quantitat de temps disponible per poder construir i desenvolupar el monoplaça. El nostre procés d'elaboració s'ha vist afectat des de la temporada passada, ja que van haver molts mesos que pel confinament i restriccions de moviment, es va perdre molt

temps de producció, que avui en dia ens hagués ajudat a poder anar més tranquils i poder fer més testos dels que podem fer, si es que al mes de juliol, els circuits del voltant ens faciliten les seves instal·lacions.

Una altra limitació, que potser no ens ha afectat tant, però si que ens hagués facilitat obtenir tots els resultats que necessitàvem, és la poca captació de membres per l'equip que van assolir. Normalment, es pot observar que la resta d'equips disposen de 35 a 45 membres, mentre que nosaltres érem només 20 estudiants, dels quals només la meitat d'ells són estudiants de la Universitat de Vic – Universitat Central de Catalunya. El fet de poder comptar amb l'ajut de *QEV Technologies* i els seus estudiants del Màster en *Motorsport*, de cara al gener de 2021, ens va suposar una gran empenta en el projecte, tant en producció com en l'organització de l'equip.

Un cop explicades les limitacions que hem pogut patir al llarg del projecte, exposarem un parell de propostes de millora en torn a la part elèctrica del monoplaça pels futurs membres de l'equip o per estudiants que vulguin ampliar aquest projecte.

Respecte al tren de potencia, el que nosaltres hem implementat, a pesar de ser robust i senzill, és una de les solucions més bàsiques que podem trobar a la competició. La tendència dels últims anys per part dels equips punters, és la de comptar amb 4 motors més petits que junts no sobrepassin els 80kW màxims permesos, i els quals vagi acoplats a la mangueta de les rodes del vehicle. Això és un procés molt més costós, pero simplifca el disseny de l'eix posterior, permetent renunciar tant a un eix rígid com a un diferencial.

Tot i la dificultat que podria suposar la següent proposta, segons passin els anys, amb més experiència i amb un nombre de membres de l'equip suficientment gran, es podria considerar poder desenvolupar el nostre propi motor i controladora, tal i com ja comencen a fer els equips més experimentats. A més, cal destacar que tindran la referencia de disposar d'un monoplaça per testejar que serà aquest que estem desenvolupant en la primera temporada.

Una altra proposta és la de millorar tant les bateries que portarem aquesta temporada, i el seu sistema de gestió, ja que amb un major pressupost del que s'ha disposat aquest any, es poden disposar de cel·les més petites amb major capacitat, i podrem reduir espai i pes per millorar el rendiment del vehicle.

Si l'equip en un futur volgués passar d'un xassís tubular a un monocasc, sens dubte s'hauria de millorar el sistema de refrigeració dels components del tren de potencia. La temperatura en una estructura tancada, es convertirà en un factor molt més crític que amb el xassís actual, que compta amb moltes zones distribuïdes per on entra aire fred de l'exterior, sobretot si tenim en compte que el vehicle participarà a l'asfalt del Circuit de Barcelona-Catalunya en ple estiu.

6. Bibliografía

- 1) R. Jobman, R. (2021). IDENTIFICATION OF LITHIUM-ION-CELL PHYSICS-MODEL PARAMETER VALUES.

https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10976/166641/Jobman_uccs_0892D_10215.pdf?sequence=1

- 2) Fraile Mora, J. (2003). Máquinas eléctricas, 5ª edición. Lugar de publicación: Mc Graw Hill
- 3) Rashid, M. H. (2004). Electrónica de potencia: Circuitos, dispositivos y aplicaciones, 3ª edición. Lugar de publicación: Pearson
- 4) Floyd, T. L. (2008). Dispositivos Electrónicos, 8ª edición. Lugar de publicación: Pearson
- 5) Hart, D. W. (2001). Electrónica de Potencia, 1ª edición. Lugar de publicación: Pearson
- 6) Korobkov, D. S. y Ufimtseva O. V. (2016). Choice of the Traction Motor for the Electric Racing Car. Procedia Engineering, 150, pp 283–288.
- 7) FSG: Rules & Important Documents. (2021). <https://www.formulastudent.de/fsg/rules/>
- 8) J. Sainio, “Battery Management System Design and Implementation in Electric Raceabout - Electric Sportscar” p.57, no. May, 2013.
- 9) W. S. Iii, “Lithium-based battery system management and balancing”p.8, 2011.
- 10) Z. Aungkyaw, H. Lahiji, M. Riesmeyer, and A. Supervisor, “Lithium-Ion Battery Management System for FSAE Electric Vehicles,” pp. 0-90, no. March, 2016.

Annex A. Dades tècniques del motor elèctric EMRAX 228 MV

Type	EMRAX 228 High Voltage			EMRAX 228 Medium Voltage			EMRAX 228 Low Voltage		
Technical data									
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Ingress protection	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Inlet Water/glycol Flow = WF; Ambient Air = AA) If inlet WF temperature and/or AA temperature are lower, then continuous power is higher.	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]	12,0	12,4	12,3	12,0	12,4	12,3	12,0	12,4	12,3
Diameter ϕ / width [mm]	228 / 86								
Maximal battery voltage [Vdc] and max load RPM	680 Vdc (5500 RPM)			500 Vdc (5500 RPM)			160 Vdc (5500 RPM)		
Peak motor power at max load RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]	109								
Continuous motor power (at 5500 RPM)	50	53	62	50	53	62	50	53	62
Maximal rotation speed [RPM]	5500 (6500 for a few seconds with magnetic field weakening)								
Maximal motor current (for 2 min if cooled as described in Manual) [Arms]	240			340			900		
Continuous motor current [Arms]	115			160			450		
Maximal motor torque (for a few seconds) [Nm]	230								
Continuous motor torque [Nm]	96	102	120	96	102	120	96	102	120
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]	1,1			0,75			0,27		
Maximal temperature of the copper windings in the stator and max. temperature of the magnets [°C]	120								
Motor efficiency [%]	92-98%								
Internal phase resistance at 25 °C [m Ω]	16,7			7,0			1,1		
Input phase wire cross-section [mm ²]	11,4			17,0			42,5		
Wire connection	star								
Induction in Ld/Lq [μ H] of 1 phase	177/183			76/79			10,3/10,6		
Controller / motor signal	sine wave								
AC voltage between two phases [Vrms/1RPM]	0,0730			0,0478			0,0176		
Specific idle speed (no load) [RPM/1Vdc]	9,8			14			40		
Specific load speed (max load) [RPM/1Vdc]	8			11			34		
Magnetic field weakening (for higher RPM at the same power and lower torque) [%]	up to 100								
Magnetic flux – axial [Vs]	0,0542			0,0355			0,0131		
Temperature sensor on the stator windings	kty 81/210								
Number of pole pairs	10								
Rotor inertia LC motor [kg*m ²]	0,0383								
Bearings (front:back) - FAG	6206:3206 (for axial-radial forces; for pull-push mode, $\alpha=25^\circ$)								

Annex B. Dades tècniques de la controladora electrònica Cascadia PM100DX

PM100	DX	DZ	Units
DC Voltage – operating	50-400	100-820	VDC
DC Overvoltage Trip Maximum	420	840	VDC
DC Voltage – non-operating	500	900	VDC
Motor Current Continuous	300	150	Arms
Motor Current Peak *	350	200	Arms
Output Power Peak (elect) *	120	130	kW
DC Bus Capacitance	440	280	µF
Size and Volume	200 x 87 x 314 / 5.5		mm / L
Weight	7.5		kg
Active Discharge via motor winding to <50V	< 1		sec
Vehicle System Power	9 .. 16		VDC
Inverter PWM Frequency **	12 (6..16 variable with upgrade)		kHz
Operating Temperature Range – coolant water	- 40 .. +80, (derate to zero 80 ... 100)		°C
Coolant Flow Rate	8 .. 10 (2 GPM min)		LPM
Coolant Pressure Drop (60°C coolant / 10 LPM)	0.4 (42kPa / 6psi)		bar
Maximum Coolant Pressure (absolute)	4.5 (450kPa / 65psia)		bar
Operating Shock (ISO 16750-3, Test 4.2.2.2)	500 (50g), pending		m/s ²
Operating Vibration (ISO 16750-3, 4.1.2.4 Test IV)	27.8 (3grms), pending		m/s ²
Cable Gland Size	M25-1.5		
Conductor Size min .. max recommended	#4/35 .. #1/50		AWG/ mm ²
Cable OD min .. max recommended ***	9 .. 16.5		mm

Annex C. Normativa tècnica de l'acumulador de les bateries

EV5 TRACTIVE SYSTEM ENERGY STORAGE

EV5.1 Definitions

EV5.1.1 Cell – a battery cell or super-capacitor.

EV5.1.2 Cell Energy – the maximum cell voltage times the nominal capacity of the used cell.

EV5.1.3 TS Accumulator – all cells that store the electrical energy to be used by the TS as a whole.

EV5.1.4 TS Accumulator Container – the container itself, which contains the TS accumulator.

EV5.1.5 TS Accumulator Segments – subdivisions of the TS accumulator.

EV5.2 Allowed Tractive System Cells

EV5.2.1 All types of cells except molten salt and thermal batteries are allowed.

EV5.2.2 Fuel cells are prohibited.

EV5.3 Tractive System Energy Storage – General Requirements

EV5.3.1 All cells which store the TS energy must be enclosed in (an) accumulator container(s).

EV5.3.2 Each TS accumulator segment must not exceed a maximum static voltage of 120VDC, a

maximum energy of 6 MJ, see EV5.1.2, and a maximum mass of 12 kg.

EV5.3.3 If spare TS accumulators are used, they must be of the same size, weight and type as those that are replaced.

EV5.3.4 Spare cells must be stored in a electrically insulated container made of fire retardant material, see T1.2.1. The container must be labeled according to EV5.3.8.

EV5.3.5 Spare accumulators and spare cells must be presented at technical inspection.

EV5.3.6 It must be possible to open the TS accumulator container for technical inspection.

EV5.3.7 Each TS accumulator container must be removable from the vehicle while still remaining rules compliant without the need to install extra components. A dummy connector or similar may be used to restore the system's isolation, see EV4.5.

EV5.3.8 The vehicle number, the university name and the ESO phone number(s) must be displayed and written in Roman Sans-Serif characters of at least 20mm high on the lid of each TS accumulator container. The characters must be clearly visible and placed on a high contrast background.

EV5.4 Tractive System Energy Storage – Electrical Configuration

EV5.4.1 If the TS accumulator container is made from an electrically conductive material, the insulation barrier must be adequately protected against conductive penetrations.

EV5.4.2 Every TS accumulator container must contain at least one fuse and at least two AIRs, see EV5.6 and EV3.2.7.

EV5.4.3 LVS must not be included in the TS accumulator container except where inherently required. Exceptions include the AIRs, TS DC/DC converters, the Accumulator

Management System (AMS), the Insulation Monitoring Device (IMD), parts of the TSAL and cooling fans.

EV5.4.4 Maintenance plugs must allow electrical separation of all TS accumulator segments, see

EV5.3.2. The separation must affect both poles of all segments including first and last segment.

EV5.4.5 Maintenance plugs must

- not require tools to separate the TS accumulator segments.
- be non-conductive on surfaces that do not provide any electrical connection.
- be designed in a way, that it is physically impossible to electrically connect them in any way other than the design intent configuration.
- be designed such that it is clearly visible whether the connection is open or closed. Electrically controlled switches must not be used.

EV5.4.6 Each TS accumulator segment must be electrically insulated by the use of suitable rigid

and fire retardant, see T1.2.1, material between the segments and on top of the segment to

prevent arc flashes caused by inter segment contact or by parts/tools accidentally falling into

the TS accumulator container during maintenance.

EV5.4.7 Every wire used in an TS accumulator container, regardless of whether it is part of the LVS or TS, must be rated to the maximum TS voltage.

EV5.4.8 Each TS accumulator container must have a prominent indicator, a voltmeter or a red LED visible even in bright sunlight that will illuminate whenever a voltage greater than 60VDC or half the maximum TS voltage, whichever is lower, is present at the vehicle side of the AIRs.

EV5.4.9 The indicator must be clearly visible while disconnecting the TS accumulator container from the vehicles. The indicator must be clearly marked with “Voltage Indicator”.

EV5.4.10 The indicator must be hard wired electronics without software control and directly supplied by the TS and always working, even if the accumulator is disconnected from the LVS or removed from the vehicle.

EV5.5 Tractive System Energy Storage – Mechanical Configuration

EV5.5.1 All TS accumulator containers must lie within and be attached to the primary structure or any additional structures fixed to the primary structure which meet the minimum specification for side impact structures, see table 4, no higher than the top of the side impact structure, see T1.1.15.

EV5.5.2 The TS accumulator containers must be protected from side or rear impact collisions by structure equivalent to that defined in T3.2. The container must not be part of this structure.

EV5.5.3 All TS accumulator container materials must be fire retardant, see T1.2.1.

EV5.5.4 TS accumulator containers must be constructed of steel or aluminium. With the following requirements:

- The bottom of the accumulator container must be at least 1:25mm thick if made from steel or 3:2mm if made from aluminium.
- The internal and external vertical walls, covers and lids must be at least 0:9mm thick if made from steel or 2:3mm if made from aluminium. Alternative materials are allowed with proof of equivalency per T3.3 or for composite materials per EV5.5.5. This must be documented in the SES. When alternative materials are used, test samples must be presented at technical inspection.

EV5.5.5 Composite TS accumulator containers must satisfy the following requirements:

- Data obtained from the laminate perimeter shear strength test and three point bending test, see T3.5, should be used to prove adequate strength is provided.
- Each attachment point requires steel backing plates with a minimum thickness of 2mm. Alternate materials may be used for backing plates if equivalency is approved.
- The calculations and physical test results must be included in the SES.

EV5.5.6 The floor and walls of the TS accumulator container must be joined by welds, bonding and/or fasteners.

EV5.5.7 The TS accumulator container must consist of electrically insulating internal vertical walls with a minimum of 75% of the height of the external vertical walls, that divide the accumulator container into section of a maximum of 12 kg .

EV5.5.8 The accumulator segments, see EV5.3.2, must be separated by a rigid, electrically insulating and fire retardant barrier, see T1.2.1.

EV5.5.9 The TS accumulator container itself, the mounting of the TS accumulator container to the chassis and the mounting of each cell to the container must be designed to withstand the following accelerations:

- 40 g in the longitudinal direction (forward/aft)
- 40 g in the lateral direction (left/right)
- 20 g in the vertical direction (up/down)

Calculations and/or tests must be documented in the SES. All considered TS accumulator container attachment points must follow EV5.5.13. TS accumulator containers made of materials as stated in EV5.5.4 or EV5.5.5 may need further reinforcement in order to comply with this rule.

EV5.5.10 Tabs of pouch cells must not carry mechanical loads.

EV5.5.11 All fasteners used within or to mount the TS accumulator container must comply with T10. Fasteners within the accumulator used for non-structural accumulator parts (e.g. PCBs etc.) do not have to follow T10 if the fasteners are made of electrically non-conductive material or, other than stated in T10.1.2, may be of any diameter.

EV5.5.12 The AIRs and the main fuse, see EV3.2.7, must be separated with an electrically insulated and fire retardant material, see T1.2.1, from the rest of the TS accumulator. Air is not considered to be a suitable insulation material in this case.

EV5.5.13 Any brackets used to mount the TS accumulator container must be made of steel 1:6mm thick or aluminium 4mm thick and must have gussets to carry bending loads. Each attachment point including

brackets, backing plates and inserts, must be able to withstand 20 kN in any direction.

EV5.5.14 Holes, both internal and external, in the TS accumulator container are only allowed for the wiring-harness, ventilation, cooling or fasteners. The TS accumulator container must still be compliant with all other rules, especially the ones concerning its structural requirements. External holes must be sealed according to EV4.5.

EV5.5.15 A sticker according to “ISO 7010-W012” (triangle with black lightning bolt on yellow background) with triangle side length of at least 100mm and the text “Always Energized” must be applied on every TS accumulator container. The sticker must also contain the text “High Voltage” if the voltage is more than 60VDC or 25VAC.

EV5.5.16 Any TS accumulators that may vent an explosive gas must have a ventilation system to prevent the vented gas from reaching an explosive concentration.

EV5.5.17 Every TS accumulator container which is completely sealed must also have a pressure relief valve to prevent high-pressure in the container.

EV5.5.18 The design of the TS accumulator container and its contents must be documented in the SES including materials used, drawings, images, fastener locations, segment weight, cell and segment position.

EV5.6 Accumulator Isolation Relays (AIRs)

EV5.6.1 At least two AIRs must be fitted inside each TS accumulator container.

EV5.6.2 The AIRs must open both poles of the TS accumulator. If the AIRs are open, no TS voltage may be present outside of the accumulator container and the vehicle side

of the AIRs must be galvanically isolated from the accumulator side, see EV1.2.1.

EV5.6.3 The AIRs must be mechanical relays of a “normally open” type. Solid-state relays are prohibited.

EV5.6.4 The fuse protecting the accumulator TS circuit must have a rating lower than the maximum switch off current of the AIRs.

EV5.7 Pre-Charge Circuit

EV5.7.1 A circuit that ensures that the intermediate circuit is pre-charged to at least 95% of the actual TS accumulator voltage before closing the second AIR must be implemented. Therefore the intermediate circuit voltage must be measured.

EV5.7.2 The pre-charge circuit must use a mechanical, normally open type relay. All pre-charge current must pass through this relay.

EV5.8 Accumulator Management System (AMS)

EV5.8.1 Each TS accumulator must be monitored by an AMS whenever the LVS is active or the accumulator is connected to a charger.

EV5.8.2 The AMS must continuously measure

- all cell voltages
- the TS current
- the temperature of thermally critical cells
- for lithium based cells: the temperature of at least 30% of the cells equally distributed within the accumulator container(s)

EV5.8.3 Cell temperature must be measured at the negative terminal of the

respective cell and the sensor used must be in direct contact with the negative terminal or less than 10mm along the high current path away from the terminal in direct contact with the respective busbar. It is acceptable to monitor multiple cells with one sensor if this requirement is met for all cells sensed by the sensor.

EV5.8.4 The maximum cell temperature is 60°C or the limit stated in the cell data sheet, whichever is lower.

EV5.8.5 An independent cell temperature monitoring device may be provided by the officials during accumulator inspection and must be installed, see IN3. The device must be placed on the warmest negative cell terminal of the accumulator container and in direct contact with the terminal or less than 30mm away from it on the busbar.

EV5.8.6 The AMS must switch off the TS via the shutdown circuit, if critical voltage, temperature or current values according to the cell manufacturer's datasheet or these rules persistently occurs for more than:

- 500 ms for voltage and current values
- 1 s for temperature values

The accuracy, noise and sample rate of the measurement must be taken into account.

EV5.8.7 AMS cell voltage measurement inputs, temperature measurement inputs and supply voltage of decentralized AMS slaves may be rated below the maximum TS voltage if the team has proven by calculations in the Electrical System Form (ESF), see EV9, that the input voltage rating is reasonably chosen.

EV5.8.8 A red indicator light in the cockpit that is easily visible from inside and outside the cockpit even in bright sunlight and clearly marked with the lettering "AMS" must light up if the AMS opens the shutdown circuit. It must stay illuminated until the error state has been manually reset, see EV6.1.6. Signals controlling this indicator are SCS, see T11.9.

EV5.8.9 AMS signals are System Critical Signals, see T11.9.

EV5.8.10 It must be possible to individually disconnect the current sensor, a temperature sensor and a cell voltage measurement wire during technical inspection, if any wire used.

EV5.8.11 The AMS must be able to read and display all measured values according to EV5.8.2 e.g. by connecting a laptop to the AMS.

Annex D. Dades tècniques de la cel·la Electric Power de HK Mingda

2、 主要技术参数

Main Technical Parameter

2.1 电芯和电池组规格参数 Technical Parameter Of Cell and Pack:

项目 Item	电芯 Cell	成品 Pack	备注 Remark
1. 主要化学成分 Cell Chemistry	LiCoO2	N/A	
2. 标称容量 Rated Capacity	22000mAh	N/A	电芯标准充电后 0.2C 放电至 3.0V Fully Discharge to 3.0V @ 0.2C. after the cell standard charge
3. 额定电压 Rated Voltage	3.7V	N/A	平均放电电压 Average Discharge Voltage (discharged at 1CmA)
4. 内阻 Internal Resistance	≤1.2mΩ	N/A	通过电芯组合后总的正负极耳测试 Measure the resistance with the overall cathode and anode tab
5. 最大连续放电电流 Max. Constant Discharge Current	220A	N/A	10C
6. 最大峰值放电电流 Max. Peak Current	440A	N/A	20C
7. 峰值电流放电时间 Time for peak discharge current	5S	N/A	
8. 放电截止电压 Discharge Cut-off Voltage	3.0V	N/A	3.0V/Cell
9. 最大持续充电电流 Max. Constant Charge Current	110A	N/A	5CmA
10. 最大峰值充电电流 Max. Peak Charge Current	330A	N/A	15CmA
11. 最大峰值电流充电时间 Time for peak charge current	5S	N/A	
12. 充电截止电压 Charging Cut-off Voltage	4.2V	N/A	4.2V/Cell
13. 尺寸 Product Size	N/A	N/A	
14. 重量 Weight	433g	N/A	±3%
15. 工作温度范围 Range of Work Temperature	充电 Charge		0~+45°C <i>Can be charged at 60°C, but may cause swell.</i>
	放电 Discharge		-20~+60°C

Annex E. Normativa respecte al circuit de seguretat i subsistemes

EV6 SHUTDOWN CIRCUIT AND SYSTEMS

EV6.1 Shutdown Circuit

EV6.1.1 The shutdown circuit directly carries the power driving the AIRs, see EV5.6, and the pre-charge circuitry, see EV5.7.

EV6.1.2 The shutdown circuit is defined as a series connection of at least two master switches, three shutdown buttons, the BOTS, see T6.2, the IMD, the inertia switch, see T11.5, the BSPD, see T11.6, all required interlocks and the AMS.

EV6.1.3 All parts of the shutdown circuit defined in EV6.1.2 must be on the high-side connection of the AIR coils and the pre-charge circuitry.

EV6.1.4 The Tractive System Master Switch (TSMS), see EV6.2, must be the last switch before the AIRs except for pre-charge circuitry and hardwired interlocks.

EV6.1.5 If the shutdown circuit is opened, the TS must be shutdown by opening all AIRs and the voltage in the TS must drop to below 60VDC and 25VACRMS in less than five seconds. All accumulator current flow must stop immediately. The action of opening the AIRs may be delayed by less than 250 ms to signal the action to the motor controllers and reduce the TS current before the AIRs are opened. The AIR supply must be abruptly switched off before reaching the minimum AIR supply voltage.

EV6.1.6 If the shutdown circuit is opened by the AMS or the IMD, it has to be latched open by a non-programmable logic that can only be manually reset by a person at the vehicle who is not the driver.

EV6.1.7 All circuits that are part of the shutdown circuit must be designed in a way, that in the de-energized/disconnected state they open the shutdown circuit.

EV6.1.8 It must be possible to demonstrate that all features of the shutdown circuit function correctly. This includes all interlocks.

EV6.1.9 Every system that is required to or is able to open the shutdown circuit must have its own, non-programmable, power stage to achieve this. The respective power stages must be designed to be able to carry the shutdown circuit current, e.g. AIR inrush currents, and such that a failure cannot result in electrical power being fed back into the electrical shutdown circuit.

EV6.1.10 The shutdown buttons, the BOTS, the TSMS and all interlocks must not act through any power stage.

EV6.1.11 All signals influencing the shutdown circuit are SCSs, see T11.9.

EV6.2 Tractive System Master Switch (TSMS)

EV6.2.1 An TSMS according to T11.2 must be part of the shutdown circuit, see EV6.1.2.

EV6.2.2 The TSMS must be fitted with a “lockout/tagout” capability to prevent accidental activation of the TS. The ESO must ensure that it is locked in the off position whenever work is done on the vehicle or no ESO is present.

EV6.2.3 The TSMS must be mounted in the middle of a completely orange circular area of 50mm diameter placed on a high contrast background.

EV6.2.4 The TSMS must be marked with “TS” and a symbol according to “ISO 7010-W012” (triangle with black lightning bolt on yellow background).

EV6.3 Insulation Monitoring Device (IMD)

EV6.3.1 Every vehicle must have an IMD installed in the TS system.

EV6.3.2 The IMD must be a Bender A-ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 or -3204 or equivalent IMD approved for automotive use. Equivalency may be approved by the officials based on the following criteria: robustness to vibration, operating temperature range, IP rating, availability of a direct output, a self-test facility and must not be powered by the system which is monitored.

EV6.3.3 The response value of the IMD must be set to 500 W=V, related to the maximum TS voltage.

EV6.3.4 The IMD must be connected on the vehicle side of the AIRs.

EV6.3.5 One IMD chassis ground measurement line must be connected to the the grounded accumulator container. The other chassis ground measurement line must be connected to the main hoop. Each connection must use a separate conductor, rated for at least maximum TS voltage. An open circuit in any of this ground measurement connections must result in an opened shutdown circuit.

EV6.3.6 In case of an insulation failure or an IMD failure, the IMD must open the shutdown circuit. This must be done without the influence of any programmable logic. See also EV6.1.6 regarding the re-activation of the TS after an insulation fault.

EV6.3.7 A red indicator light in the cockpit that is easily visible from inside and outside

the cockpit even in bright sunlight and clearly marked with the lettering “IMD” must light up if the IMD opens the shutdown circuit. It must stay illuminated until the error state has been manually reset, see EV6.1.6. Signals controlling this indicator are SCS, see T11.9.

Annex F. Electrical System Form entregat a l'orgnització de FSS

Excel complet al següent link:

https://universitatdevic-my.sharepoint.com/:x/g/person/oriol_garcia_uvic_cat/EbSZT9PeN9RMiqKMDlLtuqABwhxR4W59q1fYGOZr8QtIGA?e=Ru0Zqt

Instructions		Status	
<p>-All cells for input have an orange background.</p> <p>-Cells, sections and worksheets have an overall status. The status cells have a blue background.</p> <p>-For sections which require an image or schematic, The image should be pasted and located over the specified area. Images should be pasted at a high resolution and then resized. This allows the reader to zoom into the image if more resolution is required.</p> <p>-Where datasheets are requested, a hyperlink to the datasheet from the manufacturer must be provided.</p> <p>-Additional Comments sections are provided throughout for documentation of things which the team feels are not adequately documented in the provided fields. These are optional and do not need to be completed.</p>		Datasheets	OK
		TS Schematics	OK
		Accumulator	OK
		Precharge/Discharge	OK
		Charging	OK
		Shutdown Circuit	OK
		Torque Security	OK
		Other	OK
		Team Name	UTRON Racing Team
		University	Universitat de Vic - Universitat Central de Catalunya
		Competition Year	2020
Additional Comments			
Template Revision History			
Version	Date	Comment	
1.0	11/26/19	Initial Release	
1.1	12/12/19	Fixed issue in Accumulator cell F64	

Status: OK

Number of Accumulators	2	OK
Maximum TS Voltage	203.6 V	
Nominal Voltage	177.6 V	
Total Cells	96	

Connection Order	Series then Parallel Cells	Segment Data	OK
Segment	Cells	Max Voltage [V]	
1	2 8 60	33.6	OK
2	8 60	33.6	OK
3	2 8 60	33.6	OK
4	2 8 60	33.6	OK
5	2 8 60	33.6	OK
6	2 8 60	33.6	OK
7		0	OK
8		0	OK
9		0	OK
10		0	OK

Segment Energy	OK	
Segment Energy [MJ]		
1	5.32224	OK
2	5.32224	OK
3	5.32224	OK
4	5.32224	OK
5	5.32224	OK
6	5.32224	OK
7	0	OK
8	0	OK
9	0	OK
10	0	OK

BMS Type	Distributed	OK
BMS Type <td>Centralized</td> <td>OK</td>	Centralized	OK
Make	Electric Power	OK
Model	BMS	OK
Galvanic Isolation TS to GUV	320 V	OK
Galvanic Isolation between segments	320 V	OK

Maintenance Plugs	OK	
Connector	Alphasud Sulf Lock	OK
Rated Current	250 A	OK
AIR		OK
Make/Model	Tyc Electronics K10	OK
Contact Voltage Rating	900 V	OK
Max switching current	7500 A	OK
Max continuous current	2500 A	OK
Main Fuse	EATON 250FN	OK
Main Fuse	Main fuse ampacity	250 A

Insulating Materials	OK	
Between cells and adjacent cells	Disrupt Normax 410	OK
Between cells and adjacent cells	2140 V	OK
on top of cells	Disrupt Normax 410	OK
Voltage Rating	2140 V	OK
separating AIR and Fuse from cells	Disrupt Normax 410	OK
Voltage Rating	2140 V	OK

Maintenance Plugs	OK	
Connector	Alphasud Sulf Lock	OK
Rated Current	250 A	OK
AIR		OK
Make/Model	Tyc Electronics K10	OK
Contact Voltage Rating	900 V	OK
Max switching current	7500 A	OK
Max continuous current	2500 A	OK
Main Fuse	EATON 250FN	OK
Main Fuse	Main fuse ampacity	250 A



Maintenance Plug(s) Picture Shows	OK	
In-line configuration of plugs	TRUE	OK
Non-conductor necessary surface	TRUE	#VALOR
Additional Comments		#VALOR

Cell Connections Picture Shows	OK	
Bolts connection have positive locking	TRUE	OK
location of positive terminal	TRUE	#VALOR
location of negative terminal	TRUE	#VALOR
location of parallel cells	TRUE	#VALOR
Additional Comments		

Temp Sensor Picture Shows	OK	
Temp sensor has rubber	TRUE	OK
Distance from sensor to cell negative terminal	TRUE	#VALOR
Additional Comments		#VALOR

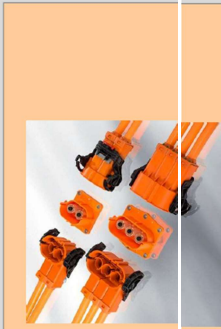
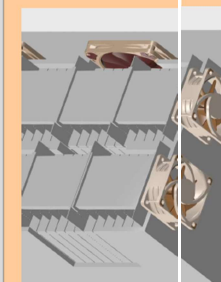
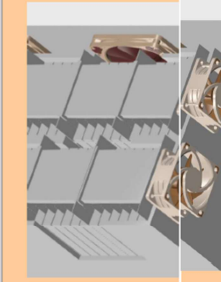
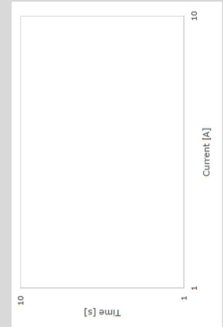
Fuse and AIR separation Picture Shows	OK	
Separated from cells	TRUE	OK
Additional Comments		#VALOR

Se	OK	
Insulate	TRUE	OK

Parallel Cell Fusing	ERROR
Source Purchased	OK
Make/Model	Enigma Fusible Link
Continuous Current	43 A

Test Data Summary	OK
Tests at current 1	0
Tests at current 2	0
Tests at current 3	0
Tests at current 4	0

See Fusible Link Testing Guideline on FSAOnline.com



Status	OK	
Precharge		
Resistor	Arcol HS100 680R J	OK
# parallel	1	OK
# series	1	OK
Resistance	680 Ohms	
Cont power	30 W	
power @15 sec	100 W	
Voltage	1900 V	OK
Bus Capacitance	0,44 mF	OK
End of precharge	Time	OK
time	2 sec	OK
Peak power	59,7685 W	
Peak current	0,30 A	
time to 90%	0,69 sec	
Precharge Res Energy to 90%	8,85 J	
Average Power	12,8 W	
Relay	OMRON G6RL-1	OK
Relay voltage rating	400 V	OK
Relay current rating	10 A	OK
Discharge		
Resistor	Arcol HS150 1K J	OK
# parallel	1	OK
# series	1	OK
Resistance	1000 Ohms	
Cont power	45 W	
power @15 sec	150 W	OK
Voltage	2500 V	OK
Peak power	40,6426 W	
Peak current	0,20 A	
Discharge time (to 60V)	0,53325 s	
Relay	OMRON G6RL-1	OK
Relay voltage rating	400 V	OK
Relay current rating	10 A	OK
Additional Comments		

Status OK

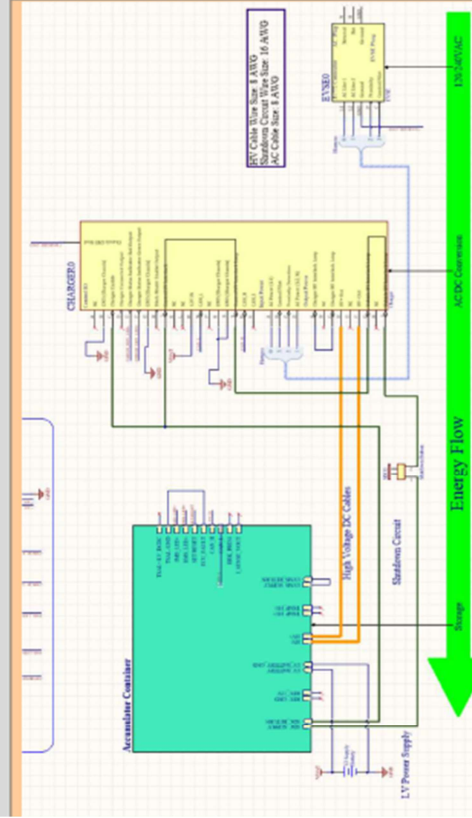
Charger

Make	Electric Power
Model	440 Type Charger
Datasheet	https://www.hkming.com
Input Voltage	90-265 V
Input Current	16 A
Output Voltage	110-440 V
Output Current	10 A
Power	1600 kW

UL/CE approval CE
Input to Output isolation 1000V

Additional Comments

OK
OK
OK
OK
OK
OK
OK
OK
OK
OK
OK

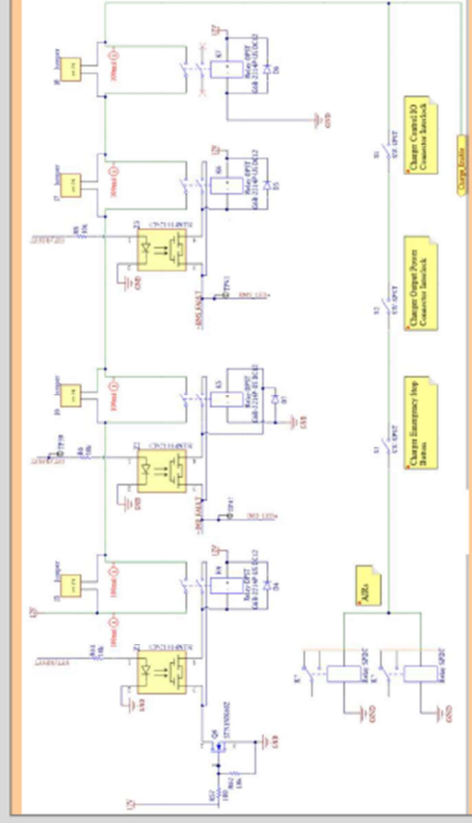


Charging Tractive System Schematic Shows

Fuse	TRUE	OK
Connectors	TRUE	#IVALOR!
Wire Gauge	TRUE	#IVALOR!
IMD	TRUE	#IVALOR!
AIRS	TRUE	#IVALOR!

Additional Comments

OK

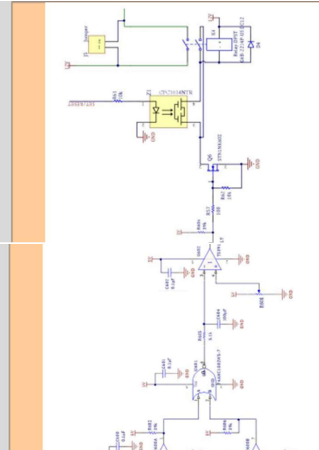
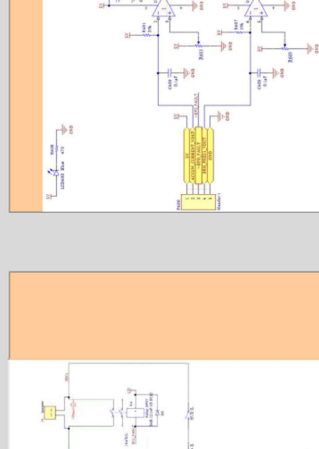
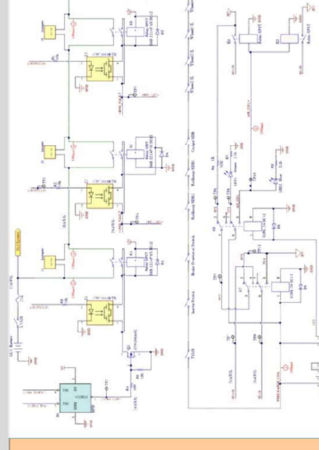


Charging Shutdown Circuit Shows

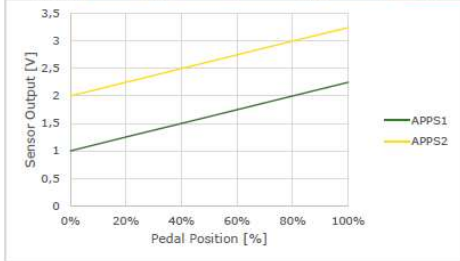
IMD control and powerstage	TRUE	OK
Charger Estop	TRUE	#IVALOR!
AIRS	TRUE	#IVALOR!
Charge Connector Interlock	TRUE	#IVALOR!
Charger Control (CAN, Enable, etc)	TRUE	#IVALOR!

Additional Comments

OK

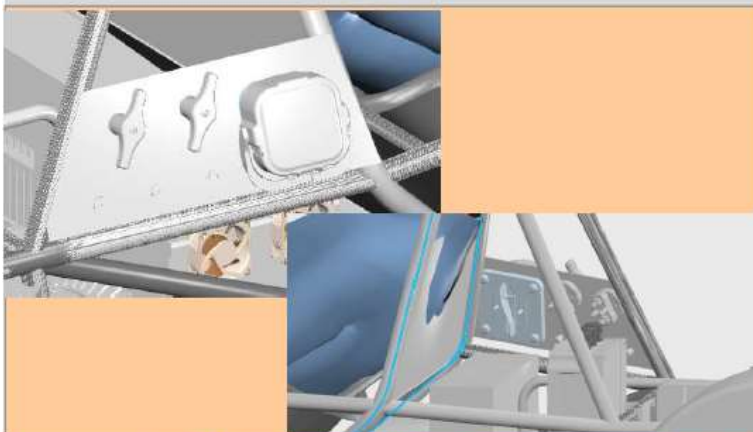
Status	OK	OK	OK	OK
IMD Make/Model Bender IR155-3203 Setpoint 500 kG	BSPD Current Sensor Make/Model LEM HO 200-S Current Sensor DataSheet http://www.lem.com Trip Current 23 A Sensor Output @ Trip Current 2.592 V Accuracy @ Trip Current 2 A			
Shutdown Circuit Schematic Shows				
GLVMS TRUE #IVALORI TSMS TRUE #IVALORI 2 side estop TRUE #IVALORI 1 cockpit estop TRUE #IVALORI brake overtravel TRUE #IVALORI Interlock TRUE #IVALORI AMS TRUE #IVALORI IMD TRUE #IVALORI BSPD TRUE #IVALORI HVD Interlock TRUE #IVALORI HVD, AMS, BSPD have independent power stages TRUE #IVALORI GLV Battery TRUE #IVALORI Wire Gauge TRUE #IVALORI Precharge Contactor coil TRUE #IVALORI Positive AIR coil TRUE #IVALORI Negative AIR coil TRUE #IVALORI Discharge Contactor coil TRUE #IVALORI TSMS TRUE #IVALORI GLVMS is first switch TRUE #IVALORI Uses proper electrical schematic symbols TRUE #IVALORI Labels/text are readable (zooming in is acceptable) TRUE #IVALORI Interlocks on TS connectors outside of an enclosure TRUE #IVALORI	BSPD System Schematic Shows BSPD Current Sensor input open/short circuit protection TRUE #IVALORI BSPD Brake Position input open/short circuit protection TRUE #IVALORI Shutdown in circuit powerstage TRUE #IVALORI			
Additional Comments				

Status	OK		OK
APPS Sensor Transfer function			
Position	APPS1 Output [V]	APPS2 Output [V]	
0%	1	2	OK
20%	1,25	2,25	OK
40%	1,5	2,5	OK
60%	1,75	2,75	OK
80%	2	3	OK
100%	2,25	3,25	OK



Torque Control Path Security Checks									OK
Source Device	Destination Device	Communication	Redundant	Out Of Range	Correlation	Checksum	Timeout	Other	
APPS	Front Controller	Analog	2 sensors	YES	YES	NO	NO		OK
Front Controller	Supervisor Controller	Digital	NO	NO	NO	CAN CRC	1 second		OK
Supervisor Controller	Motor Controller	Digital	NO	NO	NO	CAN CRC	1 second		OK
Motor Controller									

Status	OK		OK	OK
Motor Controller		OK	Motor	
Make	Rinehart	OK	Make	EMRAX
Model	PM100DX	OK	Model	228 MV
Datasheet	https://cascadiamotion.com/	OK	Datasheet	https://emrax.com/w
Galvanic Isolation between TS and control	1000 V	OK		



Energy Meter Download Picture Shows		OK
Energy Meter Download Connector	TRUE	#IVALOR!
Additional Comments		

Datasheet

Grey Melamine Foam, Plain

RS Stock No: 1034063, 1034064
Flexible, lightweight melamine foam

Applications

An effective sound absorber used in a wide variety of applications and industries such as automotive, marine, aerospace, hvac, air conditioning and OEM.

Used effectively as ductwork lining, absorber panel infills, absorption linings and sound reduction panels in generators, boats, cars off road vehicles, process plant and electrical equipment.

Acoustic Foam

A flexible light weight melamine foam, with a fine and uniform cell structure offering excellent sound absorption properties. Ideal for applications, whereby low weight and effective sound insulation is necessary.

Fire resistant Class O, to building regulations standard, when tested to

BS476 Parts 6&7. Polymer Type: Open cell melamine foam

Colour: Grey

Density: 11

kg/m³ nominal Temperature

resistance: -

30 to +150°C

Fire resistance: BS4735 self
extinguishing
FMVSS 302
self
extinguishing
ASTM D1692 max
extent burnt 60mm
UL94-HF1& VO
BS476 Part 7 Class 1 & Part 6 Class O

Thermal conductivity: 0.036 W/m.k

Annex H. Dades tècniques del relé d'aïllament KILOVAC



KILOVAC LEV200 Series Contactor With 1 Form X Contacts Rated 500+ Amps, 12-900Vdc

Product Facts

- Designed to be the lowest cost sealed contactor in the industry with its current rating (500+A carry, 2000A interrupt at 320Vdc).
- Available with bottom or side mounting -- not position sensitive.
- Optional auxiliary contact for easy monitoring of power contact position.
- Hermetically sealed -- intrinsically safe, operates in explosive/harsh environments with no oxidation or contamination of coils or contacts, including long periods of non-operation.
- Typical applications include battery switching and backup, DC voltage power control, circuit protection and safety.
- Versatile coil/power connections.
- Designed and built in accordance to AIAG QS9000.



For factory-direct application assistance, contact Earle Alldredge, product manager.
Dial 800-253-4560, ext. 2055, or 805-220-2055. Email earle.alldredge@tycoelectronics.com



Performance Data

Parameter	Units	Value for LEV200 Series
Contact Arrangement, power contacts		1FormX (SPST-NO-DM)
Rated Operating Voltage	Vdc	12-900
Continuous (Carry) Current, Typical	A	500@65°C, 400mcmconductors <i>Consult Factory for required conductors for higher (500+A) currents</i>
Make/Break Current at Various Voltages ^{1/}	A	Seenext page
Break Current at 320Vdc ^{2/}	A	2,000, 1 cycle ^{3/}
Contact Resistance, Typ. (@200A)	mohms	0.2
Load Life	Cycles	Seenext page
Mechanical Life	Cycles	100,000
Contact Arrangement, auxiliary contacts		1FormA (SPST-NO)
Aux. Contact Current, Max.	A	2A@30Vdc / 3A@125Vac
Aux. Contact Current, Min.	mA	100mA@8V
Aux. Contact Resistance, Max.	ohms	0.417@30Vdc / .150@125Vac
Operate Time @25°C		
Close (includes bounce), Typ.	ms	25
Bounce (after close only), Max.	ms	7
Release (includes arcing), Max @2000A	ms	12
Dielectric Withstanding Voltage	Vrms	2,200@sea level (leakage<1mA)
Insulation Resistance @500Vdc	megohms	100
Shock, 11ms 1/2 sine, peak, operating	G	20
Vibration, sine, 80-2000Hz., peak	G	20
Operating Ambient Temperature	°C	-40 to +85
Weight, Typical	lb. (kg)	1.3 (.60)

^{1/} Main power contacts

^{2/} 50atend of life

^{3/} Does not meet dielectric & IR after test, 1700amp for unit with Aux. Contacts

^{4/} Contacts will operate with 0.8V_{nom}<V_{coil}<1.1V_{nom} over temperature range.

Coil Data (valid over temperature range)^{4/}

	12Vdc	24Vdc	48Vdc
Nominal Voltage	12Vdc	24Vdc	48Vdc
Pickup Voltage (will operate)	9.0Vdc	19.0Vdc	38.0Vdc
Voltage (Max.)	15Vdc	30Vdc	60Vdc
Dropout Voltage	0.75-2.0Vdc	1.0-5.0Vdc	2.0-7.0Vdc
Coil Resistance @25° (Typ.)	11ohms	40ohms	145ohms

Part Numbering System

Typical Part Number: LEV200 A 4 N A A

Series: LEV200=500+Amp, 12-900Vdc Contactor

Contact Form:
 A=Normally Open
 H=Normally Open with Aux. Contacts. (Option "H" requires option "A" in Coil Wire Length and option "N" in Coil Terminal Connector.)
 Note: Other auxiliary contact forms available. Consult factory.

Coil Voltage:
 4=12Vdc 5=24Vdc 6=48Vdc K=72Vdc
 8=96Vdc L=110Vdc O=115Vac 9=240Vac

Notes: Consult factory for detailed specifications and availability of coils not listed in "Coil Data" table above.
 In coil voltage codes, 115Vac is designated by the letter "O" rather than the numeral "0."

Coil Wire Length:
 A=15.3 in (390mm) N=None (Requires option "A" in next step.)

Coil Terminal Connector:
 N=None, stripped wires (Requires option "A" in previous step.)
 A=Studs, #10-32 Threaded (Electrical connection is made to the tab at the base of the stud.)
 Note: Specify option A, stripped wires, for coil voltages >96Vdc

Mounting & Power Terminals:
 A=Bottom Mount & Male 10mmxM8 Threaded Terminals
 F=Side Mount & Male 10mmxM8 Threaded Terminals

Consult factory regarding other available mountings and power terminals.
 NOTE: All part numbers are RoHS compliant (and always have been).

© 2007 by Tyco Electronics Corporation. All Rights Reserved.
 KILOVAC, TE Logo and Tyco Electronics are trademarks.

Other products and company names mentioned herein may be trademarks of their respective owners.

Catalog 9-1773439-1
 Revised 6-08
 www.tycoelectronics.com

Dimensions are in inches and millimeters unless otherwise specified. Values in brackets are metric equivalents.

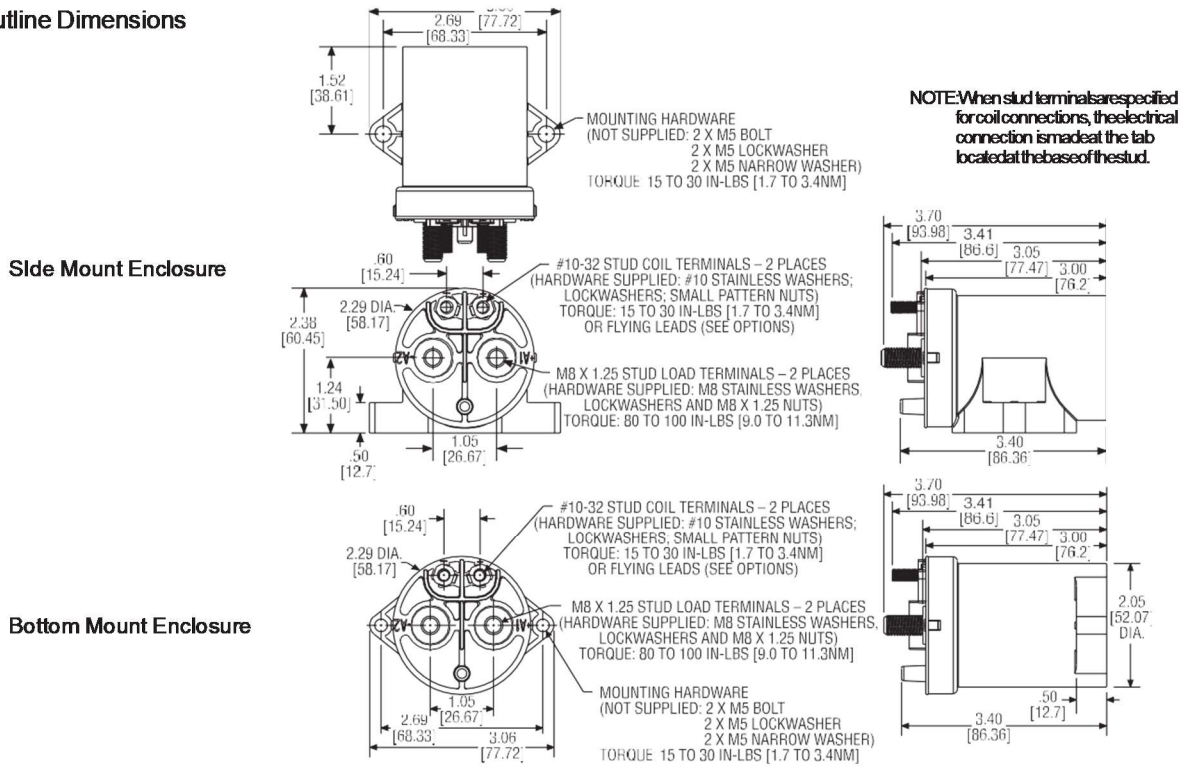
Dimensions are shown for reference purposes only. Specifications subject to change.

USA: 1-800-522-6752
 Canada: 1-905-470-4425
 Mexico: 01-800-733-8926
 C. America: 52-55-5-729-0425

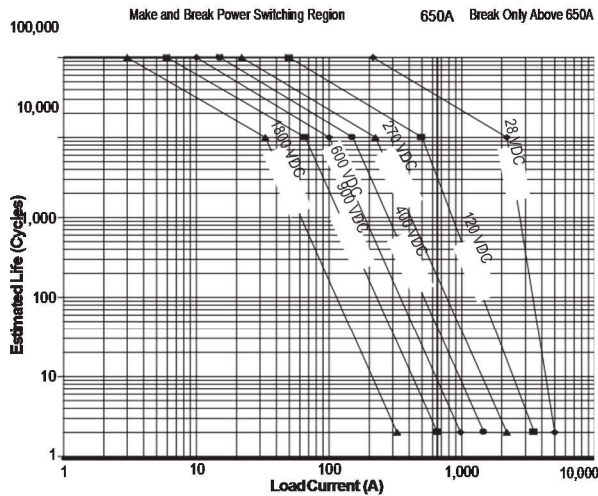
South America: 55-11-3611-1514
 Hong Kong: 852-2735-1628
 Japan: 81-44-844-8013
 UK: 44-141-810-8967

KILOVAC LEV200 Series (Continued)

Outline Dimensions



Estimated Make & Break Power Switching Ratings



NOTES:

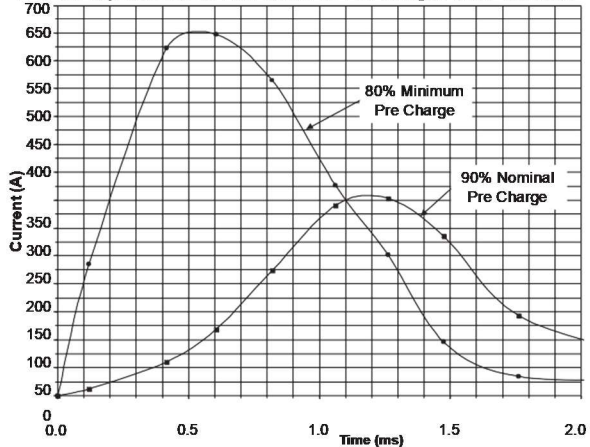
- 1) For resistive loads with 300µH maximum inductance. Consult factory for inductive loads.
- 2) Estimates based on extrapolated data. User is encouraged to confirm performance in application.
- 3) End of life when dielectric strength between terminals falls below 50 megohms @ 500VDC.
- 4) The maximum make current is 650A to avoid contact welding.

Electrical Load Life Ratings for Typical LEV Applications

Make/Break Life Capacitive & Resistive Loads at 320VDC (1) (2)	
@90% capacitive pre-charge (make only) see chart below	Cycles 50,000
@80% capacitive pre-charge (make only) see chart below	Cycles 50
2,000A (break only) (1)	Cycles 1*
Mechanical Life	Cycles 100,000

- (1) Resistive load includes inductance L=25µH. Load @ 2500A tested @ 200µH.
 (2) Life based on projected Weibull Life with 95% reliability.
 *Does not meet dielectric and IR after test.

LEV200 Capacitive Make Test Curves for Pre-Charged Motor Controller



Annex I. Dades tècniques del fusible 250FM

DATASHEET - 250A 690V AC TYPE T FUSE



Fuse-link, high speed, 250 A, AC 690 V, 200 kA, BS88, 41 x 113 mm, aR, BS



Powering Business Worldwide®

Part no. 250A 690V AC TYPE T FUSE
Catalog No. 250FM

Delivery program

Product range			Fuse
Basic function			Fuse-link
Field of application			high speed
Rated current	I	A	250
Rated voltage			AC 690 V
Construction size			BS88
Size			41 x 113 mm
Utilization category			aR
Breaking Capacity		kA	200
usable for size/applications			DC common bus, DC drives, power converters/rectifiers and reduced voltage starters
Standard/Approval			BS
Shape			offset bolted tags
Standards/Regulations			BS88-4 IEC 60269-4
Optional accessories			fuse-holder BH-1133

Technical data ETIM 7.0

Circuit breakers and fuses (EG000020) / Low Voltage HRC fuse (EC000055)

Electric engineering, automation, process control engineering / Electrical installation, device / Safety fuse inserts / Low-Voltage HRC fuse (ecl@ss10.0.1-27-14-20-05 [AFZ800015])

Construction size			Other
Rated current		A	250
Rated voltage		V	690
Voltage type			AC
Rated switching capacity		kA	200
Utilization category			aR (accompanied semiconductor protection)
Type of fuse status indicator			None
Insulated metal gripping lugs (IMGL)			No

Annex J. Taula amb especificacions de l'acumulador de cel·les

S/N	Item	Specification	Energy	Rated / Max Voltage V	Continuous/ Burst Current A	Q'ty	Unit weight	Weight (kg)	Note
1	High Power LiPo Battery Pack	EP96S2P (355.20v 20Ah)	7.10kWh	355.20/403.20	150/250	1		40	6module Version Single Module: 16S2P 59.20V 20Ah 1.344kWh/4.85MJ (Calculated by the max voltage according to the rule)
2	MU Main Unit	MU-05				1	0.50	0.50	1. Monitor the temperature of 1/3 or more of the battery
3	SU Sampling Unit	48S20T				2	0.50	1.00	2. Achieve the monitoring of all the battery cells 3. Offer CAN Communication Port
5	Display Unit					1	0.00	0.00	4. Achieve the monitor and alarm of the voltage too low or too high, excessive current of any cells
6	Pre-Charging Relay					1	0.30	0.30	5. Achieve automatic control of cooling fan
7	Pre-Charging Resistor					1	0.20	0.20	6. Offer BMS alarm output
8	Cable and Accessory (Voltage Acquisition Line With Fuse)					1	1.50	1.50	7. Perfectly achieve the CAN communication function with the charger and controller, achieve to control the charger working status through BMS 8. Perfectly achieve the CAN communication with the vehicle control system 9. Support energy recovery function, can bear the maximum 200A instantaneous charging current(5 seconds)
9	Relay					2	0.40	0.80	International well-known brand. Equipped with auxiliary contacts
10	Wire					1	2.50	2.50	Silicone wire
11	Main Output Connector					1	0.50	0.50	Plug with positive locking. With Troy Pin
12	Wire. Connector . Fuse \$ others	Maintenance Connector				6	0.30	1.80	Plug with positive locking With Mechanical-locking function
13	Main Fuse	150A				1	0.30	0.30	
14	Cooling System					1	0.20	0.20	

S/N	Item	Specification	Energy	Rated / Max Voltage V	Continuous/ Burst Current A	Q'ty	Unit weight	Weight (kg)	Note
15	Voltage Indicator					1			
16	Voltage Checker								
17	IMD								
18	Accumulator Container	According to customer's requirement				1	10,00	10,00	Material: stainless steel 430mm*450mm (Axle direction) *240mm (H)
19	Battery Unit	16S2P (59.20V, 20Ah)				1	0,00	0,00	1Pcs Backup battery module
20	Spare Parts FUSE	125A				1	0,00	0,00	
21	Plug (Main Output Connector)					1	0,00	0,00	
22	Relay					1	0,00	0,00	
	Shipping					1			
	Total							59,6	

Annex K. Codi de la lògica programable del sistema RTD

```
/*READY TO DRIVE

Sistema de posada en marxa del prototip mitjançant pulsar
el pedal de fre a més del 25% recorregut aproximadament
del recorregut total i un pulsador anomenat START que es
troba en el dashboard*/

const int Rele_RTD =2; // Relé amb bobina de 5V connectat
a la sortida, que activa el circuit de seguretat i deixar llest el
motor per funcionar en quant es pulsa el pedal d'
acceleració.

const int Led_RTD =3; // LED indicador que s'ha activat el
sistema Ready To Drive.

const int Rele_SD =4; // Contacte d'un relé alimentat a la
bobina a 24 VDC en paral·lel als AIRs i el seu contacte
alimentat a 5 VDC que està com entrada.

const int Led_SD =5; //LED indicador que s'ha tancat el
circuit de seguretat i els AIRs.

const int RTDS =6; // Buzzer que indica amb un so de 80dB
que el cotxe està llest per accelerar.

const int START =7; // Pulsador START ubicat en el panel
piloto.

const int pedal_fre =A0; // Senyal de tensió que prové del
transductor del circuit hidràulic del fre.

const int EST_OFF =0; //Estat apagat en el que es troba el
cicle

const int EST_ON =1; //Estat encès en el que es troba el cicle

const int EST_SD_ON =8; //Estat encès en el que es troba el
circuit de seguretat

const int EST_SD_OFF =10; //Estat apagat del circuit de
seguretat

//Declaració de constants

const int tempsnecessari =3000; //Temps que està el RTDS
(buzzer) encès (3 segons).

//Variables

int percentatge_fre; // Recorregut del pedal de fre accionat
en (%)

int Est_START; //Estat pulsador START (HIGH o LOW)

int Est_Rele_SD; // Estat contacte relé del circuit de
seguretat (obert o tancat)

int estat = EST_OFF; //Estat del cicle igual a apagat

int ultimcanvi = 0; // Ultim canvi

int tempscanvi = 0; // Temps del canvi

int temps; //Variable de temps

void setup () {

Serial.begin(9600);

pinMode (Rele_RTD, OUTPUT); // Rele_RTD com sortida

pinMode (Led_RTD, OUTPUT); // Led_RTD com sortida

pinMode (Rele_SD, INPUT); // Rele_SD com entrada

pinMode (Led_SD, OUTPUT); // Led_SD com sortida

pinMode (START, INPUT); // START com entrada

pinMode (RTDS, OUTPUT); //RTDS com sortida

apagatot(); //Programa apaga totes les sortides

}

void loop (){

obtenirdades ();

controlarsistema ();

/*per treballar amb el valor del transductor, cal multiplicar
per 100 i dividir entre 1020 */

percentatge_fre = analogRead (pedal_fre) * 0.098039;
//Estat pedal de fre

Est_START = digitalRead (START);

Est_Rele_SD =digitalRead (Rele_SD);

Serial.println (percentatge_fre); //Display valor
percentatge fre

}

void obtenirdades ()

{

temps = millis();

tempscanvi = temps - ultimcanvi;

}

void controlarsistema ()

{

switch (estat)
```

```

{
case EST_OFF:
controlrapagat ();
break;
case EST_ON:
controlarRTDS();
break;
case EST_SD_ON:
enclavarRTD();
break;
case EST_SD_OFF:
obrirRTD();
break;
}
}

void controlrapagat()
{
if ( Est_START==HIGH & percentatge_fre>=25)
{
encendreRTDS();
}
}

void controlarRTDS() {
if (tempscanvi >= tempsnecessari) {
apagarRTDS ();
}
}

void enclavarRTD()
{
if (tempscanvi >= tempsnecessari)
{
encendreRTD ();
}
}
}

}

void obrirRTD()
{
if (tempscanvi >= tempsnecessari & Est_Rele_SD==LOW)
{
apagatots ();
}
}

void apagatots () {
digitalWrite (Led_RTD, LOW);
digitalWrite (RTDS, LOW);
digitalWrite (Rele_RTD, LOW);
ultimcanvi = temps;
estat = EST_OFF; }

void encenderRTDS () {
digitalWrite (Led_RTD, HIGH);
digitalWrite (RTDS, HIGH);
digitalWrite (Rele_RTD, HIGH);
ultimcanvi = temps;
estat = EST_ON; }

void apagarRTDS () {
digitalWrite (Led_RTD, LOW);
digitalWrite (RTDS, LOW);
digitalWrite (Rele_RTD, HIGH);
ultimcanvi = temps;
estat = EST_SD_ON; }

void encenderRTD () {
digitalWrite (Led_RTD, LOW);
digitalWrite (RTDS, LOW);
digitalWrite (Rele_RTD, HIGH);
ultimcanvi = temps;
estat = EST_SD_OFF;
}
}

```

Annex L. Inputs a la simulació de la prova d'Acceleration

HORIZON-20 / UTRON RACING TEAM			Motor		
			Speed (RPM)	Torque (Nm)	Power (kW)
mass characteristic			0	230,0	0
Mass, m	350	kg	176	230,0	4
Wheelbase, L	1,4	m	353	230,0	9
Weight split (% front), W_split_f	50	%	529	230,0	13
CG Height, h	0,4	m	706	230,0	17
aero			882	230,0	21
Drag coeff, Cd	0,7	-	1059	230,0	26
Area, A	1,3	m ²	1235	230,0	30
Rolling coeff, Cr	0,02	-	1412	230,0	34
test conditions			1588	230,0	38
friction coeff, mu	1,5	-	1765	230,0	43
gearshift time, Tshift	0,2	sec	1941	230,0	47
Gradient	0	%	2118	230,0	51
clutch bite @, clutch_bite	0	RPM	2294	230,0	55
transmission			2471	230,0	60
Primary drive, pr_drive	1,000	:1	2647	230,0	64
1st, Gear_1	1,000	:1	2824	230,0	68
2nd, Gear_2	0,000	:1	3000	230,0	72
3rd, Gear_3	0,000	:1	3176	230,0	77
4th, Gear_4	0,000	:1	3353	230,0	81
5th, Gear_5	0,000	:1	3529	230,0	85
6th, Gear_6	0,000	:1	3706	230,0	89
Final drive, fin_drive	6,800	:1	3882	230,0	94
Wheel R, r_w	0,340	m	4059	230,0	98
air density, rho_a	1,225	kg/m ³	4235	230,0	102
Driveline loss (%), drive_loss	10	%	4412	230,0	106
Driveline configuration, drive_config	R	Enter 'F' or 'R'	4588	226,9	109
Pmax	109,0	kW	4765	218,5	109
Tmax	230	Nm	4941	210,7	109
RPM MAX	6000	RPM	5118	203,4	109
Gradient, grad	0	deg	5294	196,6	109
One Foot Rollout	No	Yes/No	5471	190,3	109
Scale Vmax	120	km/h	5647	184,3	109
Recovery:	0	m/sec ²	5824	178,7	109
V0 (km/h)	113	m/sec ²	6000	173,5	109
V1 (km/h)	3,26	t. taken (sec)	Results		
80	58,39	dist travelled (m)	0-100km/h	2,52	sec
1st	113	km/h	0-50km/h	1,21	sec
2nd	0	km/h	50-80km/h	0,75	sec
3rd	0	km/h	60-120km/h	2,01	sec
4th	0	km/h	0-75m	4,19	sec
5th	0	km/h	top speed	112,8	km/h
6th	0	km/h			