



**UNIVERSITAT  
JAUME·I**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS  
GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS**



# **DISSENY DEL SISTEMA ELÈCTRIC D'UN KART CROSS AMB TRACCIÓ ELÈCTRICA**

## **TREBALL DE FI DE GRAU**

---

Autor : Alexandre Faus Redon

Director : Enrique Belenguer Balaguer

Entitat col·laboradora : UJI






# DEDICATÒRIA

*Dedicat a la meua família, als meus pares, Silvia Redón i Emili Faus, la meua germana, Eva , els meus avis Emilio i Rosa, Manolo i Reme i també a tots els membres de la família als quals em sent molt unit.*

*Menció especial a la meua avia Rosa Roselló a la qual li vaig prometre que llegiríem junts aquest treball, gràcies per creure sempre en mi i estar tan orgullosa del teu nét! Molt agraït d'haver-te tingut a la meua vida i orgullós d'haver sigut el teu nét!*

*Com et vaig dir en el seu moment, açò i tot el que faja està dedicat a tu! Et vull molt iaia!!  
Descansa *

*“Buen porte y buenos modales abren puertas principales”*

# AGRAÏMENTS

*Aquest treball, és el final d'una carrera de fondo molt dura. Des de la meua infantesa fins a la meua maduresa m'he anat fent un home i he anat aprenent de la gent del meu voltant. En la meua vida m'he trobat amb molta gent la qual m'ha fet a créixer com a persona i m'han ensenyat molt de la vida i he après molt de tots ells. No ha sigut fàcil arribar fins ací, i la gent que ha estat al meu costat ho sap, junts hem passat tots els obstacles i dificultats.*

*Abans de començar amb la presentació del treball, vull agrair a totes les persones que he trobat en aquest temps a les quals he d'agrair el fet d'haver-les conegut i haver treballat amb ells.*

*Primer, agrair a Enrique Belenguer Balaguer, el meu tutor del TFG, qui m'ha permès realitzar aquest treball i m'ha guiat quan ha sigut necessari gràcies a la seua experiència i saber fer. He tingut molta sort de tindre'l de professor a electrotècnia i després de que ell em donarà l'oportunitat de fer conjuntament aquest projecte del kart cross elèctric. M'he sentit realitzat com a enginyer i com a estudiant trobant el sentit a tot el que he fet. Per tot i més, moltes gràcies!*

*Igualment, agrair a tots els meus companys de carrera a l'UJI (Ana Tomàs, Natalia Arbeloa, Manel Martínez, Ferran Vilar, Pau Giménez, Rafa Fabregat, Pablo Vázquez, Alex Roca...) i a l'INSA LYON (David Tomás, Florian/F10 Oualid, Adela Guerra, Nicolas Molina, David Padilla, Pepe Feliu, Juan Elenter, Francisco el Perro...).*

*Jo voldria agrair també l'equip d'ensenyants de l'UJI i de l'INSA de LYON per haver-me format aquests anys i haver-ho fet amb la qualitat amb la que ho han fet. Tanmateix a l'equip de secretaria de les dos universitats els quals m'han ajudat molt quan ha sigut necessari.*

*Finalment, jo no puc oblidar-me d'agrair a la meua família (Silvia, Emili i Eva) i a la meua núvia (Clara Llopis) per recolzar-me i animar-me durant este temps.*

**MOLTES GRÀCIES A TOTS!**

# RESUM

El present projecte descriu el procés de concepció, disseny, dimensionament i muntatge d'un kart cross elèctric com a element d'estudi del vehicle elèctric per a la Universitat Jaume I. La finalitat del mateix és la substitució d'un sistema de combustió per un sistema elèctric en un kart per a poder aplicar aquesta investigació a l'ensenyament Universitari, i tanmateix extraure conclusions per a treballar en aquest camp en un futur, millorant tot allò que resulta fonamental per poder adaptar aquests canvis a qualsevol vehicle de combustió.

Per al desenvolupament del projecte, inicialment es realitza un anàlisi del vehicle elèctric per conèixer el seu mercat i la seua situació actual. A continuació, es revisen els fonaments teòrics del sistema elèctric del kart, contrastant diferents fonts d'informació com: articles científics, informes tècnics, tesis, fòrums...

Tot i seguit, es realitza un càlcul de la potència necessària tenint en compte una prèvia llista de requeriments. Després de realitzar aquest càlcul es seleccionen els components mecànics i elèctrics que formen part del kart. Partint en primer lloc de l'elecció del motor com a element principal, seguint amb el controlador, la bateria i acabant pels elements auxiliars.

Posteriorment, s'analitzarà amb detall el controlador seleccionat, el seu funcionament, configuració i programació, amb a finalitat de que s'acoblen d'una manera òptima al motor.

Es realitza un plec de condicions per veure que el kart aconsegueix amb el que li és exigint per llei a l'hora de circular per la via o en competicions.

També es fa un anàlisi tant econòmic com ambiental, en primer lloc per analitzar la viabilitat econòmica del projecte, a través dels costos reflectits al pressupost. En segon lloc, la viabilitat ambiental demostrant que un vehicle elèctric es menys contaminant que un vehicle de combustió.

Finalment es valora el treball realitzat, s'indica el treball a realitzar en un futur, i les possibles recomanacions per a futures investigacions juntament amb les conclusions a les que s'ha arribat.

# ABSTRACT

This project describes the process of conception, design, sizing and assembly of an electric kart cross as an element of study of the electric vehicle for the Universitat Jaume I. The purpose of the study is the replacement of a combustion traction system by an electrical traction system in a kart cross to be able to apply this research to University education, and at the same time drawing conclusions to work on this field in the future, improving everything that is essential for the vehicle in order to be able to adapt these changes to any combustion vehicle.

For the development of the project, an analysis of the electric vehicle is initially carried out to study its market and its current situation. Next, the theoretical fundamentals of the kart's electrical system are reviewed, by contrasting different sources of information such as: scientific articles, technical reports, theses, forums ...

Then, a calculation of the required power is made considering a previous list of requirements. After performing this calculation, the mechanical and electrical components which are part of the kart are selected. Starting by the choice of the engine as the main element, followed by the controller, the battery and ending with the auxiliary elements.

Afterwards, the operation, the configuration and programming of the selected controller will be analyzed in detail, with the aim of optimally adapt it to the engine.

A set of conditions is made to see that the kart complies with what is required of it by law when driving on the road or in competitions.

An economic and environmental analysis is also carried out, on the one hand, in order to analyze the economic viability of the project, through the costs reflected in the budget. On the other hand, studying the environmental viability by demonstrating that an electric vehicle is less polluting than a combustion vehicle.

Finally, the work done is evaluated, the work to be done in the future is indicated, and the possible recommendations for future research are joined together with the reached conclusions.

# RÉSUMÉ

Ce projet décrit le processus de conception, de conception, de dimensionnement et d'assemblage d'un kart cross électrique en tant qu'élément d'étude du véhicule électrique pour l'Universitat Jaume I. Le but de celui-ci est le remplacement d'un système de combustion par un système électrique dans un kart pour pouvoir appliquer ces recherches à l'enseignement universitaire, et au même temps tirer des conclusions pour travailler dans ce domaine à l'avenir, en améliorant tout ce qui est essentiel pour pouvoir adapter ces changements à tout véhicule à combustion.

Pour le développement du projet, une analyse du véhicule électrique est dans un premier temps réalisé pour connaître son marché et sa situation actuelle. Ensuite, les fondements théoriques du système électrique du kart sont révisés, en regardant différentes sources d'informations telles que : articles scientifiques, rapports techniques, thèses, forums ...

Ainsi de suite, un calcul de la puissance requise est effectué en tenant compte un cahier de charges décrit en avance. Après avoir effectué ce calcul, les composants mécaniques et électriques qui font partie du kart sont sélectionnés. En commençant par le choix du moteur comme élément principal, suivi du contrôleur, de la batterie et en finissant par les éléments auxiliaires.

Ensuite, le contrôleur sélectionné, son fonctionnement, sa configuration et sa programmation seront analysés en détail, de sorte qu'il puisse être adapté de façon optimale sur le moteur.

Un ensemble de conditions est fait pour s'assurer que le kart est conforme à ce qui lui est exigé par la loi lors de la conduite sur route ou en compétition.

Également, une analyse économique et environnementale est également réalisée, tout d'abord pour analyser la viabilité économique du projet, à travers les coûts reflétés dans le budget. D'autrement, la viabilité environnementale en démontrant qu'un véhicule électrique est moins polluant qu'un véhicule de combustion.

Enfin, le travail effectué est évalué, le travail à faire à l'avenir est indiqué, et les recommandations possibles pour les recherches futures ainsi que les conclusions tirées sont ajoutées.

# ÍNDEX GENERAL

1. MEMÒRIA TÈCNICA
2. PLÀNOLS
3. PRESSUPOST
4. PLEC DE CONDICIONS



# ÍNDIX

DEDICATÒRIA	3
AGRAÏMENTS	4
RESUM	5
ABSTRACT	6
RÉSUMÉ	7
ÍNDIX GENERAL	8
TAULA D'IL·LUSTRACIONS	11
TAULES	13
1. INTRODUCCIÓ	14
1.1 Antecedents	14
1.2 Justificació	15
1.3 Objectius	16
1.4 Abast del projecte	17
2. El vehicle elèctric	18
2.1 Un poc d'història	18
2.2 Classificació dels vehicles elèctrics	20
2.3 Mercat actual dels vehicles elèctrics	20
2.4 Kart Cross elèctric	22
3. DESCRIPCIÓ DELS COMPONENTS DEL KART	23
3.1 Bateria	24
3.2 BMS	31
3.3 Controlador	32
3.4 Motor	33
3.5 Carregador	37
3.6 Accelerador i fre	44
3.7 Elements auxiliars	45
4. LLISTA DE REQUERIMENTS	46
5. DIMENSIONAMENT DEL VEHICLE	47
6. DISSENY I DIMENSIONAMENT DELS COMPONENTS	50
6.1 Motor	50
6.2 Controlador	53
6.3 Bateria	54
6.4 BMS	57
6.5 Carregador	59

6.6	Accelerador i fre	62
6.7	Elements auxiliars	62
7.	DIMENSIONAMENT DEL CABLEJAT	64
	Cablejat de potència	64
	Cablejat de baixa potència	65
8.	ESTUDI I PROGRAMACIÓ DEL CONTROLADOR SELECCIONAT	66
8.1	Sobre el manual	66
8.2	Configuració inicial del controlador	69
8.3	Connexions de control	70
8.4	Selecció d'entrades digitals activa baixa o alta.	76
8.5	Cablejat de potència.	79
8.6	Disseny mecànic	79
9.	ELEMENTS DE SEGURETAT	81
10.	DIAGRAMA DE GANTT	82
11.	PLÀNOLS 2D I MODEL 3D	83
	Plànols en 2D	83
	Model 3D	84
12.	MESURAMENTS I PRESSUPOST	86
13.	PLEC DE CONDICIONS	88
	CONDICIONS TÈCNIQUES	88
	CONDICIONS LEGALS	89
	CONDICIONS D'EXECUCIÓ I MUNTATGE DEL CABLEJAT	89
14.	VIABILITAT	91
	Viabilitat econòmica	91
	Viabilitat ambiental	93
15.	FUTURS TREBALLS A REALITZAR	95
16.	ANÀLISI CRÍTIC DELS RESULTATS	96
17.	CONCLUSIÓ	99
18.	BIBLIOGRAFIA	101
ANNEX		104
	Motor	104
	Controlador	107
	Bateria	119

# TAULA D'IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1 Kart cross disseny mecànic.....	14
Il·lustració 2 El Morrison, vehicle elèctric de 1891.....	18
Il·lustració 3 Esquema a blocs del kart.....	23
Il·lustració 4 Estructura química del LCO.....	28
Il·lustració 5 Estructura química de la bateria LMO.....	28
Il·lustració 6 Estructura química de les bateries LFP.....	29
Il·lustració 7 Funcions del BMS.....	31
Il·lustració 8 Variador de velocitat.....	32
Il·lustració 9 Exemple dels ports i connexions d'un controlador d'un vehicle elèctric.....	32
Il·lustració 10 Bobines de l'estator i rotor.....	35
Il·lustració 11 Equivalent per fase del motor síncron.....	35
Il·lustració 12 Diagrama per fase del motor síncron.....	36
Il·lustració 13 Tipus de motor amb imants permanents segons la construcció del rotor.....	36
Il·lustració 14 Tipus de connectors.....	38
Il·lustració 15 Connector COMBO2 mascle i femella.....	39
Il·lustració 16 Modes de recàrrega.....	40
Il·lustració 17 Potenciòmetres de l'accelerador.....	44
Il·lustració 18 Xassis del kart en AUTOCAD.....	46
Il·lustració 19 Diagrama de forces.....	47
Il·lustració 20 Motor síncron amb imants permanents i sense escombretes.....	50
Il·lustració 21 Esquema de la transmissió Motor-Roda.....	52
Il·lustració 22 Cablejat de potència.....	53
Il·lustració 23 Esquema elèctric de la bateria.....	56
Il·lustració 24 Connexió de 12 cel·les. Il·lustració 25 Connexió de menys 12 cel·les.....	58
Il·lustració 26 Connexió entre 24 cel·les.....	59
Il·lustració 27 Esquema per blocs del carregador.....	60
Il·lustració 28 Transformador monofàsic.....	60
Il·lustració 29 Ponts de tiristors.....	61
Il·lustració 30 Esquema elèctric del carregador.....	61
Il·lustració 31 Control d'angle.....	67
Il·lustració 32 Taula d'ajust d'angle.....	68
Il·lustració 33 Taula corrent ID.....	69
Il·lustració 34 Taula corrent IQ.....	69

II·lustració 35 Connectors A/B i els diferents pins E/S .....	71
II·lustració 36 Exemple de cablejat per a tracció.....	75
II·lustració 37 Communtador mecànic activa baixa.....	76
II·lustració 38 Communtador electrònic activa baixa.....	77
II·lustració 39 Communtador de doble llançament i de diodes.....	77
II·lustració 40 Communtador mecànic activa alta. ....	78
II·lustració 41 Communtador electrònic alimentat a més de 12V. ....	78
II·lustració 42 Communtador electrònic alimentat a menys de 12V. ....	79
II·lustració 43 Cablejat de potència.....	79
II·lustració 44 Planol del 2D del controlador.....	80
II·lustració 45 Model 3D del controlador.....	80
II·lustració 46 Diagrama de GANTT.....	82
II·lustració 47 Planol en 2D del sistema elèctric.....	83
II·lustració 48 Model de combustió del kart cross inicial. ....	84
II·lustració 49 Model elèctric del kart cross transformat. ....	85
II·lustració 50 Gràfic de la provenença de l'energia consumida a Espanya. ....	94

# TAULES

Taula 1 Constants utilitzades per al càlcul.....	48
Taula 2 Resultats de les aplicacions numèriques.....	49
Taula 3 Taula de selecció del motor.....	51
Taula 4 Trams de cablejat de potència.....	64
Taula 5 Secció d'un cable segons la intensitat màxima admissible.....	64
Taula 6 Costos en recursos humans.....	86
Taula 7 Costos en I+D.....	87
Taula 8 Costos en materials.....	87
Taula 9 Costos totals.....	87

# 1. INTRODUCCIÓ

El capítol que obri el present Treball de Fi de Grau introdueix breument el seu contingut. Primerament se posarà en context el treball a la primera part d'antecedents. A continuació, es comentaran la justificació i objectius d'aquest treball per a comprendre el perquè d'aquest estudi. Tot seguit, passarem a analitzar l'abast del projecte on es farà una definició global del que el kart serà, i una descripció específica de què hauria d'acomplir el kart final.

## 1.1 Antecedents

El present TFG té d'objectiu el disseny del sistema elèctric per a un Kart Cross amb motor de combustió per a la seva transformació en vehicle elèctric. Les característiques principals del vehicle són la utilització d'un motor síncron amb imants permanents (PMSM) de 19 kW de potència nominal (39 kW de potència màxima) i una bateria d'ió de liti de 3,2 kWh de capacitat.

El projecte ha estat realitzat a la Universitat Jaume I (UJI) a l'Àrea d'Enginyeria Elèctrica del Departament d'Enginyeria de Sistemes Industrials i Disseny. És important destacar que a banda del disseny purament elèctric i electrònic es farà també el disseny mecànic del conjunt, per a una correcta integració del elements dins del vehicle. Es partirà d'un model mecànic del vehicle ja existent (veure a la il·lustració 1) per a situar i dimensionar els components elèctrics.



Il·lustració 1 Kart cross disseny mecànic

## 1.2 Justificació

Actualment, el sector del transport necessita incorporar canvis importants tant als motors com al combustible, degut a tres motius fonamentals que es detallen a continuació:

- Disminuir els impactes ambientals com:
  - L'emissió d'un gran nombre de contaminants en quantitats importants (CO, CxHy, NOx, PM, etc).
  - Un elevat nivell de soroll.
  - Gasos d'efecte hivernacle que emeten els actuals vehicles de combustió interna, els quals generen un gran impacte en el medi ambient.

Aquesta situació, conduirà a l'adopció de noves i estrictes mesures anti-contaminació amb l'objectiu d'aconseguir una major protecció de la salut i del medi ambient.

- Reduir la seva dependència del petroli :
  - Dia a dia augmenten les necessitats energètiques del nostre planeta.
  - Les principals fonts d'energia emprades (combustibles fòssils i urani) són limitades.

Essent d'imperiosa necessitat reconvertir els sistemes energètics per sistemes més nets i menys limitats.

- Incrementar la seva eficiència energètica
  - Els motors de tèrmics actuals ofereixen un rendiment del 25% mentre que el elèctric té una eficiència del 90% pel fet d'utilitzar una tecnologia diferent per a generar el par motor (Tèrmics → combustió // Elèctrics → principi de la inducció electromagnètica).

En la nostra societat, el transport representa quasi un 40% del consum d'energia primària, per tant no resulta exagerat afirmar que el vehicle elèctric és el vehicle del futur perquè ofereix millores substancials als principals reptes i problemes del nostre temps.

Per això considere molt interessant aprofundir en el funcionament del vehicle elèctric:

- Investigant noves bateries més ecològiques i eficients.

- Millorant el rendiment del motor.
- Treballant el desenvolupament de controladors per optimitzar el funcionament del sistema.

Els vehicles elèctrics són l'alternativa que no emet contaminació mentre s'utilitza, i que, si l'energia per a carregar i produir les bateries provenen d'energies renovables. Un dia es podria arribar a la xifra de 0 emissions en el cercle energètic global. Aleshores aquest estudi es centrarà en l'estudi del vehicle elèctric en forma de kart.

### 1.3 Objectius

L'objectiu principal del TFG és treballar en la substitució d'un sistema de combustió per un sistema elèctric en un kart. La finalitat del projecte és poder aplicar aquesta investigació a l'ensenyament universitari, i tanmateix es podran extraure conclusions per poder treballar en aquest camp en un futur, millorant tot allò que resulta fonamental per poder adaptar aquests canvis a qualsevol vehicle de combustió.

Amb la progressiva implantació del vehicle elèctric creixerà la necessitat d'enginyers amb coneixements específics en aquest àmbit, que els permetrà investigar per millorar el funcionament d'aquest.

És per això que juntament al Enrique Belenguer (Professor Titular de la Universitat Jaume I) hem treballat en el disseny del sistema elèctric d'un Kart Cross amb la finalitat de :

- Dimensionar la potència necessària segons les característiques físiques del vehicle.
- Seleccionar els components òptims per adaptar el model mecànic inicial a un nou sistema 100% elèctric.
- Aprofundir en el funcionament del controlador del kart.
- Dissenyar una bateria i el seu carregador adequats a les exigències del vehicle.
- Adaptar tots els elements entre sí per a obtenir els resultats d'autonomia i funcionament requerits.

Aquest projecte, podrà ser utilitzat per a la docència i també per a la investigació i millora continua del mateix sempre a vistes d'innovar.



## 1.4 Abast del projecte

L'abast del projecte queda definit en els següents punts:

- Anàlisi de la situació actual del vehicle elèctric.
- Estudi de les diferents tecnologies emprades per al disseny d'un vehicle elèctric i en el nostre cas adaptat a un kart cross 100% elèctric.
- Elecció, ubicació i configuració de tots els elements que componen el kart en funció dels càlculs realitzats.
- Adaptació del xassís del vehicle en funció dels components elèctrics escollits.
- Representació en 3D de les solucions escollides.
- Anàlisi dels costos de fabricació.
- Valoració dels resultats.
- Aplicació a la investigació.
- Desenvolupament de noves vies d'estudi i ensenyament.

## 2. EL VEHICLE ELÈCTRIC

En aquest capítol s'estudiarà el vehicle elèctric. Primerament, es farà una breu introducció del vehicle elèctric en la història. A continuació, s'analitzarà els diferents tipus de vehicles elèctric que existeixen avui en dia segons la manera que tenen d'emmagatzemar energia. Després, es realitzarà un anàlisi de mercat per a poder concloure sobre la importància i la projecció que poden tindre els vehicles elèctrics en el futur. Finalment, es justificarà l'elecció del kart cross com a ferramenta d'estudi dels vehicles elèctrics.

### 2.1 Un poc d'història

Malgrat que en els darrers temps s'ha produït un important esclat mediàtic a l'entorn dels vehicles elèctrics (VE), en general continua havent-hi un gran desconeixement sobre aquest tipus de vehicles i les seves possibilitats reals. Per exemple, es desconeix que amb més de cent deu anys d'antiguitat a la seva esquena, aquests vehicles van precedir els vehicles de combustió interna (VCI). Efectivament, a finals del segle XIX es produïen vehicles elèctrics a diversos països. L'any 1891 W. Morrison va fabricar un dels primer vehicles elèctrics dels Estats Units d'Amèrica, amb un motor de 4 CV que podia transportar 10 persones a una velocitat de 32 km/h i gaudia d'una autonomia de 80 km.



Il·lustració 2 El Morrison, vehicle elèctric de 1891.

Les millores indubtables aconseguides pels fabricants de vehicles de combustió (bàsicament de cicle Otto o de gasolina), i la limitació d'autonomia imposada per les bateries, van relegar el vehicle elèctric de bateries a usos molt específics (vehicles industrials per a manutenció, carretons motoritzats per a persones amb discapacitat de moviments, etc.), de baixes velocitats i abast molt limitat. L'eclosió de l'automòbil de combustió arribà amb el model T de la casa Ford l'any 1908 i la implantació de la producció en sèrie. D'aquest model, tot i que consumia uns 20 litres cada cent quilòmetres, se n'arribaren a produir més de 15 milions d'unitats que es vengueren a un preu relativament assequible.

Per contra, el progressiu encariment dels preus del petroli i l'augment de la sensibilitat ambiental, amb els compromisos de Kyoto, fa que es torni a plantejar l'alternativa dels vehicles elèctrics.

Per tant, i malgrat que ens trobem avui en dia davant una important "revolució tecnològica", tots els analistes ens indiquen que es produirà una coexistència de VCI i dels nous VE durant molts anys. Ara bé, no creiem exagerada l'afirmació que ens trobem davant una "revolució tecnològica", atès que amb la progressiva introducció de VE en els nostres sistemes de transport i mobilitat aconseguirem diversos objectius llargament perseguits: una creixent reducció de la dependència energètica envers el petroli, un augment notable de l'eficiència energètica, una reducció important de la contaminació general i a les ciutats en particular, un aplanament de la corba de càrrega elèctrica, una optimització general del sistema energètic i l'acompliment d'un somni dels enginyers elèctrics: l'emmagatzematge de l'electricitat en quantitats relativament importants que porten a parlar dels sistemes de connexió a la xarxa (V2G) i d'altres sistemes intel·ligents de generació i transport d'energia que es tractaran posteriorment.

En essència, un VE està constituït per un sistema infinitament més senzill que els tradicionals VCI, integrat principalment per una estructura portant, una bateria i un sistema de recàrrega, un sistema de control més o menys sofisticat, i un o diversos motors elèctrics.

## 2.2 Classificació dels vehicles elèctrics

Actualment existeixen diferents models de vehicles elèctrics. Una classificació entre altres és diferenciar-los segons el mètode utilitzat per a transformar l'energia elèctrica en moviment :

- **VE amb bateries** : Aquest tipus de vehicle està compost per tres parts principals : d'una bateria per emmagatzemar energia elèctrica, d'un motor elèctric per a generar el moviment, i d'un controlador per que tot funcione conjuntament.
- **VE híbrids** : es tracta d'una combinació d'un motor de combustió interna amb una bateria i un motor/generador elèctric qui treballen junts per a generar moviment.
- **VE amb carburant** : son vehicles que utilitzen la mateixa arquitectura que un VE amb bateria però utilitzen una pila de combustible o una bateria de metall-aire per a substituir la bateria elèctrica convencional (exemple Honda FCX).
- **VE amb línies d'alimentació** : Aquests vehicles funcionen amb la corrent elèctrica proporcionada per les línies elèctriques aèries (Troleibús i tram).
- **VE a energia solar** : utilitzen panells fotovoltaïques per a recarregar les bateries (Honda Dream).

## 2.3 Mercat actual dels vehicles elèctrics

L'electricitat ja fa temps que és un factor important en la mobilitat: trens, tramvies, troleibusos, etc., però ara sembla que vol irrompre amb força en els vehicles automòbils. Després de molts anys de parlar-ne a mitja veu, darrerament governs i fabricants estan generant notícies engrescadores de forma continuada. En aquesta part del TFG, s'analitza la situació actual del vehicle elèctric en el mercat Europeu, per estudiar la futura implantació del mateix .

Partint dels estudis realitzats per ACEA (Asociació de Constructores de vehicles de la Unió Europea, format per 16 de les empreses automobilístiques més importants al món), es desprenen uns fets importants a tenir en compte per al futur del vehicle elèctric:

En els últims anys la quota de mercat de vehicles elèctrics a la Unió Europea es situa en torn al 1,5 %, si continua incrementant al ritme dels últims anys es preveu que per a 2025 seria de 3,9 % i per a 2030 de 5,4 %. Ara bé, aquesta quantitat es inferior a la que la Comissió Europea desitjaria, ja que volen impulsar la venda de vehicles poc contaminants amb el medi ambient. Però hi ha altres causes que també tenen a veure amb la implantació del vehicle elèctric enlloc d'altres més contaminants com:

- La venda de vehicles elèctrics també està condicionada per les ajudes que donen en cada país de la Unió Europea per poder adquirir-ne un. Dels estudis realitzats es desprèn que aquesta ajuda és molt diversa depenent del país i pot ser una bonificació, una reducció d'impostos o no res.
- La Unió Europea vol impulsar les vendes de vehicles elèctrics en detriment del altres més contaminants i que fan emissions de CO<sub>2</sub>, aplicant impostos a aquests últims (com per exemple sancions als fabricants de cotxes que excedissin les emissions de CO<sub>2</sub> de 95 g/km de mitjana ), ara bé tampoc poden ser excessius ja que hi ha gran part de la població que no pot accedir a la compra d'un vehicle elèctric degut a que tenen un preu més elevat que la resta de vehicles.
- La renda per càpita de cada país de la Unió Europea, també es un condicionant molt important, ja hem dit que es tracta d'un vehicle més car. A la seva compra influirà la renda disponible i les ajudes a l'adquisició. De fet, dintre de la Unió Europea hi ha gran diferència entre la renda dels països del Est i els del Nord-Centre d'Europa que tenen una renda molt superior.

Aquests factors influeixen de gran manera, i fan que la implantació del vehicle elèctric sigui major en els països del Nord-Centre d'Europa. Llavors s'haurà de millorar tots aquests factors perquè la implantació del vehicle elèctric siga una realitat dintre de la Unió Europea.

Actualment la present crisi del corona virus, i la considerable baixada dels preus del gasoil, ha provocat que els líders de la indústria automobilística pausen la seua producció, degut a que les vendes han baixat dràsticament a tot el món.

Malgrat això, les regulacions d'emissions segueixen vigents i els fabricants tenen incentius legals per enfocar-se en cotxes elèctrics, el que significa que un cop passe aquesta situació de crisi, el context específic de cada mercat seguirà influït significativament per l'acceptació del consumidor. Segons el sector automobilístic, marques líders com Tesla, Volkswagen i Fiat estan llestes per ingressar al mercat del vehicle elèctric amb nous models més econòmics.

Ara bé, amb l'actual incertesa i els preus del petroli caient en picat, s'esperen a traure al mercat els nous models per a quan hi hagi un entorn socio-econòmic més estable.

## 2.4 Kart Cross elèctric

Per a l'estudi del vehicle elèctric s'ha seleccionat en primer lloc l'estructura mecànica d'un kart cross de combustió, amb la finalitat de realitzar una transformació del mateix en vehicle elèctric.

La preferència de realitzar aquesta transformació en el kart davant d'un altre tipus de vehicle s'exposa en els següents punts:

- Simplicitat: muntatge i manipulació de l'estructura poc complexes.
- Potència: els elements necessaris per a realitzar-lo necessiten menys potència el que fa que la seua aplicació a l'ensenyament és més senzilla.
- Preu: òbviament el preu influeix, no costen el mateix els components de baixa potència, que fa el projecte educatiu més viable.
- Dimensions del vehicle: un kart és un vehicle fàcil d'emmagatzemar en un laboratori o taller.
- Disponibilitat de materials: fàcil obtenció d'empreses que ens puguin subministrar els materials necessaris en un període de temps curt.

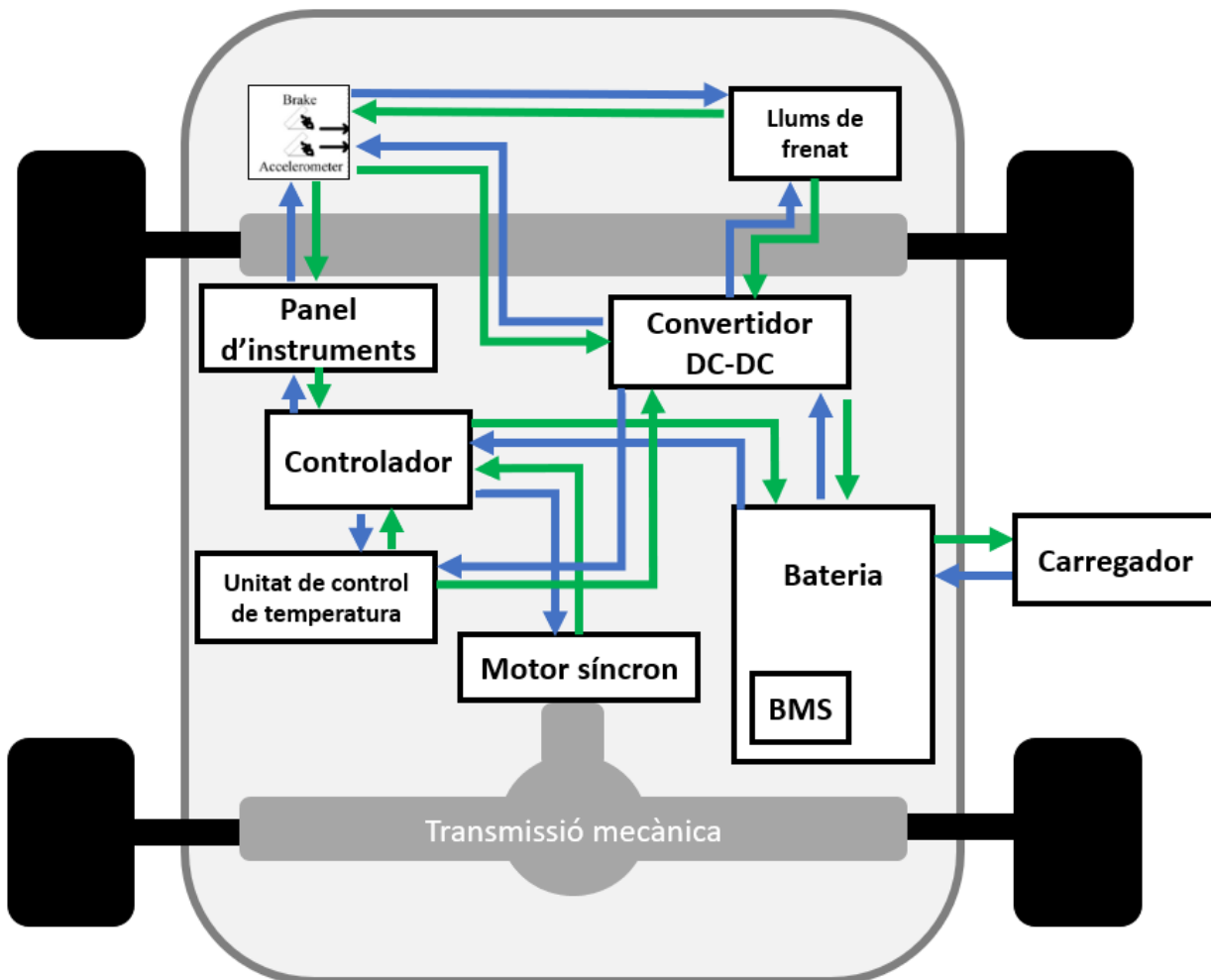
En definitiva, aquests són els principals motius que han fet que el vehicle elegit siga el kart.

### 3. DESCRIPCIÓ DELS COMPONENTS DEL KART

En aquesta part del TFG se centrarà en els diferents components del kart. Analitzant un a un, la seua funció i importància. De cada component s'estudiaran els diferents tipus que hi han del mateix i les seues característiques principals.

Un kart, com tot vehicle elèctric conté els següents components : motor, controlador, bateria, BMS (Battery Management System) , carregador, pedals d'acceleració/frenada i elements auxiliars com el panel d'instruments del pilot, el circuit de refrigeració, la caixa de connexions, un kit de radiocomunicació o un sistema de teledetecció GPS.

En el següent esquema per blocs (il·lustració 3) es representen els diferents blocs funcionals (components) i les seues connexions entre ells.



Il·lustració 3 Esquema a blocs del kart.

Com es mostra a la il·lustració 3, es poden veure els blocs del sistema elèctric del kart i les connexions entre cada un. A continuació, s'estudiarà cada component del kart, la seua funció i les diferents variants del mateix.

### 3.1 Bateria

És el component que s'ocupa de l'emmagatzematge d'energia elèctrica (en forma d'energia química) per a poder ser transformada en moviment quan es desitge. Aquesta alimenta el sistema amb la tensió i corrent necessaris per a que el sistema funcione correctament.

Actualment, les bateries recarregables i la seua autonomia són el factor principal de crítica dels vehicles elèctrics, junt al temps de càrrega en comparació als cotxes de combustió, aleshores la clau del futur passa per investigar les bateries recarregables i optimitzar el seu rendiment i temps de recàrrega. Malgrat això, les bateries són l'element que menys s'ha investigat respecte a altres tecnologies com podria ser el desenvolupament d'eines informàtiques i de control per al vehicle.

Cal conèixer que la estructura física més xicoteta per a emmagatzemar l'energia elèctrica s'anomena "cel·la" i és la unitat bàsica utilitzada en l'àmbit de les bateries. És important tindre en compte que el terme bateria no està correctament utilitzat. De vegades, s'anomena "bateria" per a fer referència a un conjunt de cel·les connectades en sèrie i "mòdul de bateries" quan s'associen en paral·lel. En altres casos, el terme "bateria" s'utilitza per a qualsevol conjunt de cel·les.

A continuació, s'estudiarà el funcionament de les bateries o cel·les, tanmateix es mostrarà les diferents tecnologies disponibles per a les bateries actuals, així com les tecnologies amb les quals s'espera aconseguir en un futur millors bateries. També es realitzarà un estudi comparatiu de les tecnologies actuals per a així poder analitzar els tipus de bateria que podem utilitzar en el projecte.

#### 3.1.1 Principi de funcionament

Una cel·la es defineix com un dispositiu electroquímic on l'estructura està formada per dos elèctrodes i un electròlit, àrees que explicarem a continuació.

- L'electròlit és una substància en la qual es troben els elèctrodes i que es caracteritza per tenir gran densitat d'ions, els quals seran necessaris perquè es produeixi la reacció química principal, detallada més endavant.



- Els elèctrodes estan compostos per materials semiconductors, la seua funció és proporcionar les característiques químiques que afavoreixen les reaccions que tenen lloc. S'ha de distingir entre elèctrode positiu, denominat com a ànode, i elèctrode negatiu, denominat com a càtode. Cada elèctrode serà considerat com a ànode o càtode en funció de la direcció que tingui el trànsit de càrregues entre ells, i per tant la funció que tinguin en la reacció química que té lloc. Més endavant es concretaran aquests aspectes químics.

Partim de que la cel·la té una energia emmagatzemada en forma química. Aquesta energia correspon a les càrregues que posseeixen els ions de la solució que hem anomenat electròlit. Aquesta energia química es transforma en energia elèctrica a causa de la reacció química d'oxidació-reducció (REDOX) que té lloc entre els elèctrodes. L'ànode, és susceptible a carregar-positivament i tenir la capacitat d'atreure càrregues negatives, o el que és el mateix ions negatius o anions. De la mateixa manera el càtode és capaç de carregar-se negativament i així atreure ions positius o cations, d'aquí el nom de l'elèctrode. Cal un material que proporcioni els ions que permetin carregar-se als elèctrodes, d'aquí la funció de l'electròlit.

El que una bateria tingui unes característiques o unes altres de comportament depèn en gran mesura del material de què estiguin compostos els elèctrodes i l'electròlit. Aquests materials seran els que defineixin que una bateria es consideri d'un tipus concret.

Per concloure, al connectar la bateria a la font d'alimentació es produirà la separació d'ions que es troben en l'electròlit, els quals es transferiran entre els elèctrodes com a producte de la reacció d'oxidació-reducció, fenomen denominat com a transferència de càrrega.

### 3.1.2 Característiques importants

En aquest apartat s'introduiran uns conceptes que són interessants de descriure prèviament:

- Densitat energètica: és la quantitat d'energia que és capaç d'emmagatzemar una bateria en relació amb el seu pes, es mesura en watts-hora per quilogram (Wh / kg). És un paràmetre important de cara a el vehicle elèctric, ja que influirà en la seva autonomia i prestacions. En les bateries de nova generació disponibles per al vehicle elèctric tenen uns valors d'aquest paràmetre compresos entre 100 a 150 (Wh / kg).
- Potència específica: és la potència que es pot obtenir per cada kg de bateria, s'expressa en watts per quilogram (W / kg) .Aquesta potència ve influenciada per la temperatura i les pèrdues energètiques.

- Eficiència de càrrega / descàrrega: és la relació entre l'energia introduïda en la recàrrega i la que realment es lliura. Una bateria moderna sol tenir una eficiència de l'90%, la resta es perd per la calor de les reaccions químiques.
- Cicles de vida: les bateries recarregables solen perdre capacitat amb les respectives càrregues i descàrregues. Aquests valors són aproximats, ja que variaran segons el fabricant i les reaccions químiques.
- Velocitat de recàrrega: és el temps necessari per a la recàrrega de la bateria, se sol donar el temps de recàrrega fins al 80%, a causa que és el més pràctic i representatiu.

### 3.1.3 Tipus de bateries

#### Bateria de Plom-Àcid (Pb)

És la bateria (humida) més antiga (inventada al segle XIX) i a la més comuna en vehicles convencionals, utilitzades com a bateria d'arrencada. Les tensions habituals són 6 V, 12 V o un altre múltiple de 2, ja que la tensió subministrada per cada cel·la és de 2 V. La densitat d'energia capaç d'aportar és de 30 Wh/kg.

Està constituïda per dos elèctrodes de plom, de manera que, quan està descarregada es troba en forma de sulfat de plom (II) ( $PbSO_4$ ) incrustat en una matriu de plom metàl·lic en l'element metàl·lic (Pb). L'electròlit és una dissolució d'àcid sulfúric.

A la bateria té lloc la següent reacció:

Descàrrega ↔ Càrrega



Com avantatges de l'ús d'aquestes bateries estan l'alta potència, el comportament segur i fiable i el seu baix preu. Però per contrapartida té com inconvenients la baixa energia específica, el mal comportament en fred i el seu curt període de vida útil, a més d'un considerable pes. Per aquests motius tecnològics i per motius de seguretat, ja que a la autodescàrrega de la bateria pot produir hidrogen que és explosiu i per la toxicitat del plom, sigui obviat el seu ús en el vehicle elèctric.

### Bateria de Níquel-Cadmi

Aquests tipus de bateries estan formades per un càtode d'hidròxid de níquel, un ànode de cadmi i un electròlit d'hidròxid potàssic. Actualment estan en desús a causa de la toxicitat que genera el cadmi. En el seu interior té lloc la següent reacció:



Aquest tipus de bateries posseeixen com avantatges que la pèrdua d'electròlit és més difícil de succeir que en les bateries normals, a més disposa d'una resistència interna molt baixa i una caiguda de tensió al cicle de descàrrega gairebé nul·la. Respecte als desavantatges posseeix una tensió de cel·la més baixa que les altres, cosa per la qual no es poden carregar a una càrrega constant, això és degut a les seves característiques de resistència i tensió que parlem abans, i per últim com vam dir la seva toxicitat, han fet que caiguin en desús.

### Bateria de Níquel-Metall hidrur

És un tipus de bateria que fa servir com a ànode hidròxid de níquel, a l'igual que a la bateria que tractem anteriorment, però en aquest cas el càtode és un aliatge d'hidrur metàl·lic, la qual emmagatzemarà hidrogen.

Té com a avantatge respecte a l'anterior que no utilitza cadmi, que és un material que és car i contaminant. Tanmateix posseeix un menor efecte memòria i una major capacitat a igualtat de grandària i pes. Però malgrat tot això té com desavantatges la menor eficiència, baix rendiment a temperatures baixes i una major taxa d'autodescàrrega. Malgrat ser una bateria amb molt bones característiques de longevitat, no s'utilitza en vehicles purament elèctrics.

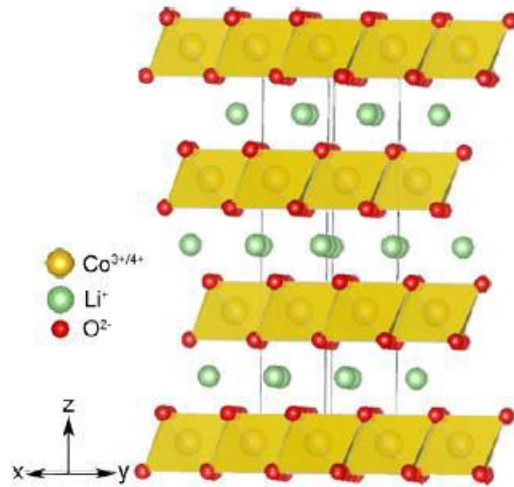
### Bateria d'ió de Liti

La majoria d'aparells portàtils avui en dia porten bateries de Liti-íó, molt més eficients que els anteriors de Níquel-Metall (NiMH) o Níquel-Cadmi (NiCd). A continuació es presentaran els diferents tipus de bateries d'ió de Liti

#### Bateria LCO (LiCoO<sub>2</sub>)

Aquests tipus de bateries són les que s'han utilitzat sempre en càmeres digitals, ordinadors portàtils i telèfons mòbils, entre altres dispositius.

Estan formades per un electròlit de liti i elèctrodes de liti, cobalt i òxid. L'ànode sol ser un material porós derivat del carbó, principalment el grafit. El LiCoO<sub>2</sub> posseeix una estructura bidimensional, està formada per capes d'òxid de cobalt en les quals estan inclosos els ions de Liti.



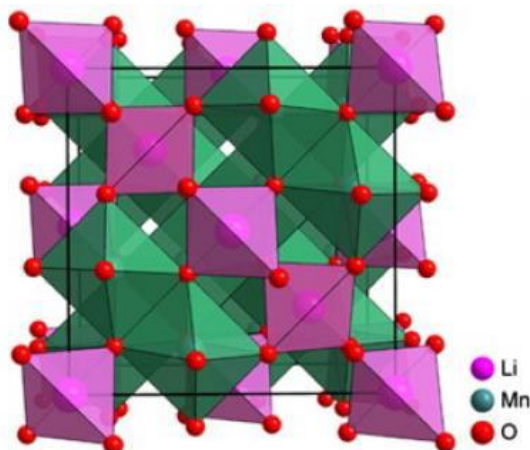
Il·lustració 4 Estructura química del LCO.

El procés químic que té lloc a l'interior de la bateria durant la càrrega és que l'elèctrode negatiu és reduït electroquímicament, per la qual cosa els ions de liti s'introdueixen a l'interior de l'estructura del grafit. Tanmateix, durant la descàrrega ocorre el procés invers, és a dir, els ions de liti abandonen el grafit per tornar a l'elèctrode positiu.

Cal tenir la precaució de no carregar en excés aquestes bateries, ja que es poden fer malbé (acumulació de dendrites), el que causaria una pèrdua de la capacitat i menor durada del cicle de vida. Cal tenir en compte que el risc d'explosió és més gran per la presència del cobalt.

#### Bateria LMO (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)

Aquesta bateria comparteix amb la qual hem vist anteriorment, l'ús del grafit com ànode. Posseeix millors característiques enfront de seguretat i estabilitat tèrmica que les bateries LCO, de manera que les fan idònies per a la implementació en vehicles tant elèctrics com híbrids. Aquesta bateria presenta una estructura formada per òxid de manganès i liti en forma de espinela, com es pot observar a la il·lustració 5. Aquesta estructura posseeix una resistència elèctrica baixa, el que afavoreix la circulació de corrent.

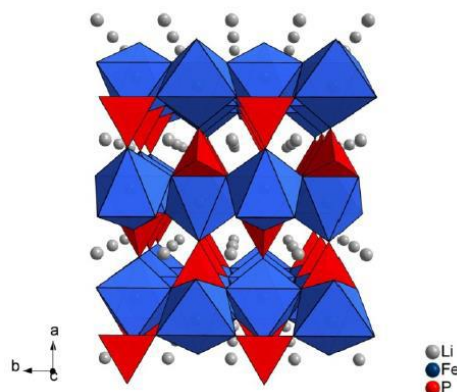


Il·lustració 5 Estructura química de la bateria LMO.

En aquesta bateria el procés químic que té lloc durant la càrrega, és que els ions de liti abandonen el càtode per passar a l'ànode de grafit a través del electròlit. En la descàrrega succeeix el procés invers, els ions passen de l'ànode a càtode, i un cop en aquest es combinen amb el  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ .

#### Bateria LFO ( $\text{LiFePO}_4$ )

Són semblants a les bateries LCO, però aquestes no utilitzen cobalt, el que els proporciona d'una major estabilitat i seguretat d'ús que les primeres. A causa de la seva estructura posseeix una resistència electroquímica baixa, el que es tradueix en el fet que permet uns cicles de vida més llarg, encara que la hi introdueixin altes corrents de càrrega i descàrrega. Podem veure la seva estructura química a la il·lustració 6.



Il·lustració 6 Estructura química de les bateries LFP.

Els avantatges que posseeix respecte a les anteriors bateries que hem vist, és que posseeix una major vida útil amb la possibilitat d'introduir valors alts d'intensitat, això és degut a que posseeix un ànode de  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  en comptes del grafit de les bateries LCO i LMO. Com a inconvenients a destacar és que posseeix una baixa tensió de cel·la, una major taxa de autodescàrrega i un preu més elevat.

#### Bateria LPO (Liti polímer)

Al principi quan es van començar a utilitzar no tenien aplicacions útils per la seva baixa conductivitat elèctrica a temperatura ambient, però amb el pas del temps es van anar aconseguint millorar tots aquests inconvenients. Les actuals bateries d'aquest tipus són les que posseeixen millors valors d'energia i potència del conjunt de bateries de liti. A més són més eficients, més lleugeres, no posseeixen efecte memòria i més segures, un gran avantatge en cas de patir un accident amb el vehicle. Ja que el liti s'intercala amb l'elèctrode de carbó, i a l'estar en forma iònica és menys reactiu que el liti metall. Com a desavantatges podem ressaltar el seu alt cost i el seu baix cicle de vida, el que les fa poc usuals.

### 3.1.4 Futur de les bateries

Per avançar cap a un futur més sostenible, el desenvolupament de bateries de més capacitat és crucial. És per això que actualment s'està investigant i millorant diferents tipus de bateries. Aquestes són :

- Bateries de Liti-Sofre: aquestes bateries van ser desenvolupades per la universitat de Cambridge, encara que estan en proves, segons els estudis podran arribar a posseir una energia específica superior a 350 Wh / kg i una densitat d'energia 10 vegades superior. Com inconvenient és que aquesta bateria està formada per grafè, que és un material que s'està estudiant i de moment és car.
- Bateries de Liti-Metall: aquestes bateries estan sent utilitzades actualment en dispositius mòbils, a causa que són més petites amb els mateixos valors d'energia específica, i en aquest camp es tendeix a la miniaturització de components. Respecte a l'ús en vehicles de moment no està implantat, però té bones característiques causa de la seva reducció de pes. Hi ha una proposta de Licerion de Sion Power d'una bateria per a automòbil de 400 Wh / kg. Com a inconvenient a l'igual que l'anterior és que depenem del grafè.
- Bateries de estat sòlid: en aquestes bateries, la matèria conductora entre l'ànode o pol positiu i el càtode o pol negatiu és una matèria sòlida en comptes del líquid o gel que utilitzen les bateries actuals. Segons els experts, aquestes bateries sòlides seran més eficients i tindran una vida útil de 40 anys -cosa que reduirà el problema de la gestió del reciclatge-. També gaudiran d'una capacitat energètica més gran, cosa que permetrà reduir les seves dimensions i de retruc el seu pes en benefici del cotxe elèctric i les seves prestacions. Encara hi ha més: presumiblement aquestes bateries seran més barates de fabricar i faran que baixi el preu dels cotxes elèctrics, de manera que fins i tot seran més econòmics que els cotxes de combustió tradicionals.

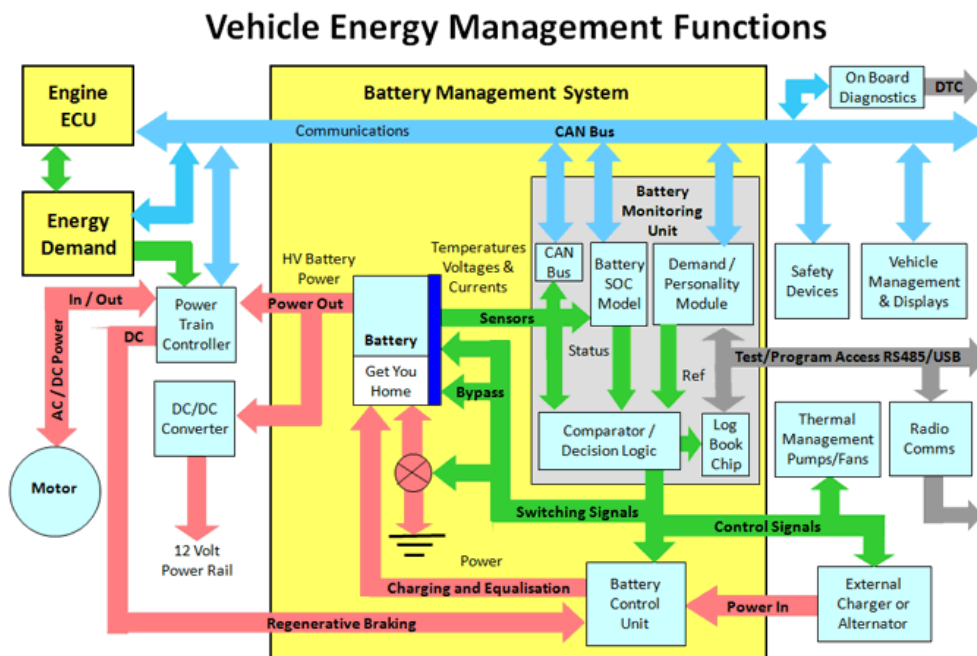
Optimitzant el rendiment i funcionament d'aquets tipus de bateries, es podrà algun dia aplegar a la substitució dels vehicles de combustió pels vehicles elèctrics.

### 3.2 BMS

El BMS (Battery Management System), traduït literalment al valencià com a sistema de gestió de bateries, és el cervell d'un mòdul de bateries el qual s'encarrega del control total de la mateixa. El BMS ofereix informació de l'estat de les bateries a el mateix temps que les protegeix de situacions perilloses, evitant que puguin operar, per exemple, en condicions alienes a les condicions pensades de treball.

El BMS sol tenir comunicació amb la càrrega o el sistema de recàrrega, als quals els envia les ordres. Les seves funcions principals són:

- Protecció de tensió. El BMS mesura la tensió en els borns de la cel·la i si supera el valor de tensió màxima o es troba per sota de la tensió mínima informa d'un error en la cel·la.
- Protecció de sobre-corrent. En aquest cas, mesura el corrent i si aquesta supera la màxima corrent de càrrega o descàrrega, el BMS informa l'error.
- Protecció de temperatura. El BMS s'encarrega que la temperatura de treball sigui la idònia per a les cel·les, en cas contrari informa l'error.
- Informe de l'estat de càrrega de les cel·les.
- Equilibrat de tensió de les cel·les. El BMS comprova que les cel·les lliurin la mateixa quantitat d'energia amb l'objectiu d'homogeneïtzar la tensió per maximitzar la capacitat de les bateries.

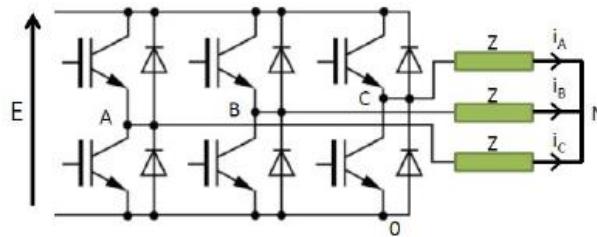


Il·lustració 7 Funcions del BMS.

### 3.3 Controlador

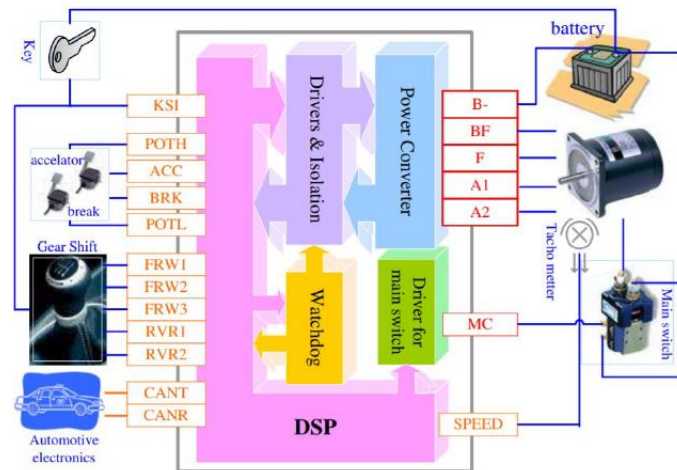
El controlador és el cor del vehicle elèctric, i és essencial per a assegurar un bon funcionament del mateix. El controlador té com a objectiu fer el sistema elèctric del vehicle més robust, millorant el seu control dinàmic i en regulació, tanmateix millorant l'estabilitat. A més, també els controladors s'encarreguen de gestionar el consum d'energia per optimitzar el funcionament de la instal·lació.

El controlador incorpora dintre del mateix diferents components i perifèrics els quals tenen funcions molt diverses. Entre aquestes funcions, la més important és la de variador de velocitat, amb aquesta és soluciona el problema de parada del motor. Normalment el controlador, posseeix un sensor (de codificació o descodificació) el qual detecta la posició del motor. Mitjançant aquest, el controlador manté un angle de  $90^\circ$  entre el camp rotatori del estator (Hs) i el camp rotatori del rotor (Hr) fixant uns valors d'amplitud i freqüència de la tensió, per a mantindre el par al seu valor màxim. Gràcies al controlador, Hs estarà modulad en amplitud i freqüència el que fixarà la valor del par i no hi haurà possibilitat de parada del motor.



Il·lustració 8 Variador de velocitat.

A part d'aquesta funció en té més com convertidor de potència, perifèrics d'entrada/sortida, un microprocessador, senyals de seguretat, CANBUS, fonts d'alimentació... Un exemple d'esquema del controlador podria ser el següent :



Il·lustració 9 Exemple dels ports i connexions d'un controlador d'un vehicle elèctric.



Existeixen a la nostra disposició a una gran quantitat de models de controladors i variadors de velocitat (IPM, PWM...), aleshores cal elegir l'adequat per a cada procés. A més de les característiques del motor, també tindrem compte de factors oberts externs a l'hora de la selecció. Això és important per obtenir el millor rendiment per realitzar-lo a la fi i no desaprofitar recursos.

Per tant, s'hauran d'analitzar als menys següents factors a l'hora de seleccionar un controlador:

- Característiques del motor: Corrent i potencia nominal, rang de tensions, factor de potència, velocitat màxima ...
- Tipus de càrrega: Par constant, Par variable, Potència constant ...
- Par d'arrancar: Assegurar que no supera el permís pel variador. Algunes vegades és necessari sobredimensionar el variador per aquesta circumstància.
- Fre regeneratiu: Càrregues d'inèrcia, cicles ràpids i moviments verticals que requereixen resistència de frenat exterior.
- Condicions ambientals: temperatura ambient, humitat, altura, tipus de gabinet i ventilació.
- Aplicació multi-motor: Preveure protecció tèrmica individual per a cada motor. La suma de les potències de tots els motors serà el nominal del variador.
- Tipus de comanda: vectorial o escalar.

Per a la selecció d'un controlador, vista la complexitat del sistema, normalment es construeix per un motor i aplicació determinada. Doncs per això, tots els fabricants de motors, segons l'ús que se li dona al seu motor se'ns recomanarà un controlador que s'adapte a les exigències de la nostra llista de requeriments.

### 3.4 Motor

El motor és l'element encarregat de transformar l'energia elèctrica existent en la bateria en moviment mitjançant la comanda del controlador en forma de tensió amb una amplitud i freqüència determinades per a fixar el par motor d'eixida.

Existeixen diferents tipologies de motors elèctrics, però en general un motor elèctric es pot considerar com una carcassa tancada a l'interior de la qual s'incorporen els dispositius necessaris que possibiliten la transformació d'energia elèctrica en energia mecànica. Aquests dispositius bàsicament són l'estator i el rotor. L'estator correspon a la part fixa del motor, juntament amb la carcassa, i està constituït per una corona de xapes ferromagnètiques amb

ranures per l'interior, per on passa un bobinat i on es disposen un nombre parell de sortints anomenats pols. Les fases del bobinat de l'estator coincideixen amb les de la xarxa elèctrica. L'altre element a destacar és el rotor, que correspon a la part mòbil del motor i està situat a l'interior de l'estator. El rotor bàsicament està format per una corona de xapes ferromagnètiques solidàries a l'eix del motor, les quals presenten una sèrie de ranures on s'allotja un altre bobinat.

Els motors elèctrics són els accionaments més freqüents en la indústria, ja que poden satisfer un gran nombre de necessitats motrius de les màquines: des d'arrancar-les, suportar i aturar càrregues, etc. A més a més, respecte a altres motors com poden ser els de combustió, els motors elèctrics, per la mateixa potència de sortida, presenten una grandària més reduïda, subministren un parell motor molt més elevat, tenen més facilitat en la regulació i el control de la velocitat i el parell, més eficiència energètica, més seguretat i més facilitat de manteniment.

Hi existeixen diferents tipus de motors elèctrics, segons l'aplicació :

- Motor Síncron : el més utilitzat en el món de l'automòbil. Ofereix un rendiment alt i unes dimensions i pes petits per a aplicacions de potència considerable. El par ofert pel motor ens dona una velocitat proporcional a la freqüència de la corrent d'alimentació.
- Motor Asíncron : molt utilitzat en l'indústria per a aplicacions que requereixen molta potència i velocitat constant.
- Motor de Corrent Continua : normalment utilitzats als vehicles híbrids i aplicacions de baixa potència, que requereixen d'un bon rendiment.

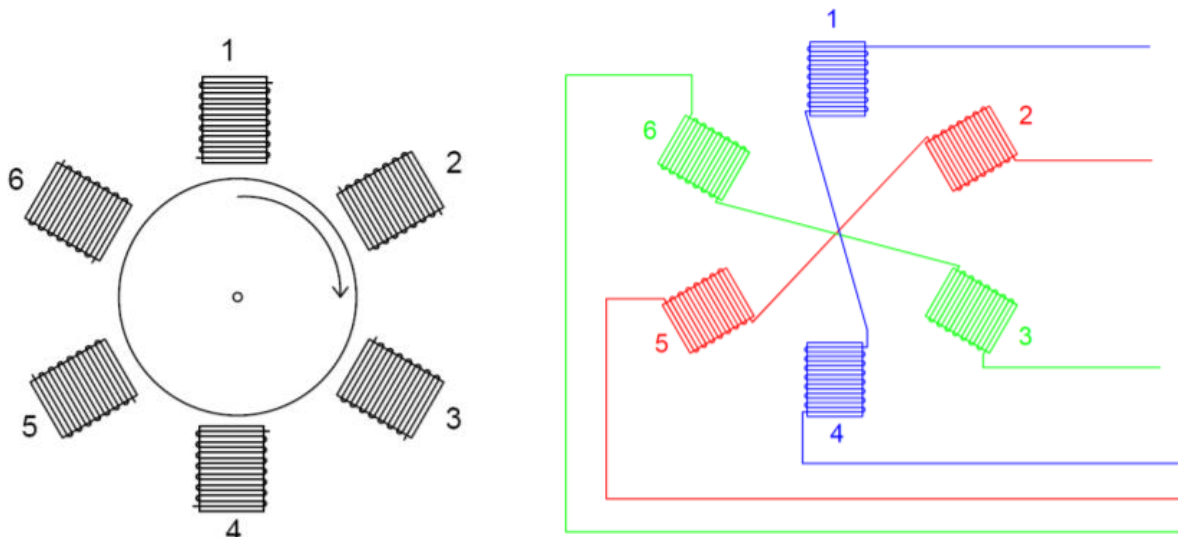
Com el motor més utilitzat al món de l'automòbil és el motor síncron, aquest estudi es centrarà en el mateix estudiant el seu funcionament i tipologies.

#### *3.4.1 Principis de funcionament del motor síncron*

El funcionament d'un motor elèctric es basa en el principi de la inducció electromagnètica. Un motor síncron és un tipus de motor de corrent altern. On disposem d'un conjunt de bobines disposades de forma circular, com s'aprecia a la il·lustració 10. Si a aquestes bobines els apliquem un corrent de forma alternativa, començant per la primera i així successivament, aconseguirem com a resultat un camp magnètic que seguirà el flux de corrent. A aquest camp magnètic se li denomina camp giratori.

Si a l'interior de les bobines de la figura col·loquem un disc metàl·lic (amb capacitat magnètica) girarà a una determinada velocitat impulsat pel camp magnètic giratori.

En aquest cas, el vector força de camp establert és igual a el producte de la meitat de la inducció màxima creada per cadascuna de les bobines, ja que només fem servir la meitat de la inducció de les bobines, multiplicada pel nombre d'elles:



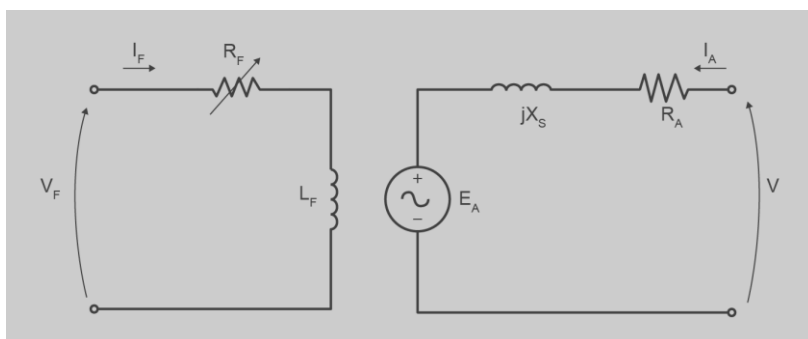
Il·lustració 10 Bobines de l'estator i rotor.

La seva velocitat de gir és constant i depèn de la freqüència de la tensió de la xarxa elèctrica a la qual està connectat i del nombre de parells de pols del motor; aquesta velocitat es coneix com a "velocitat de sincronisme".

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

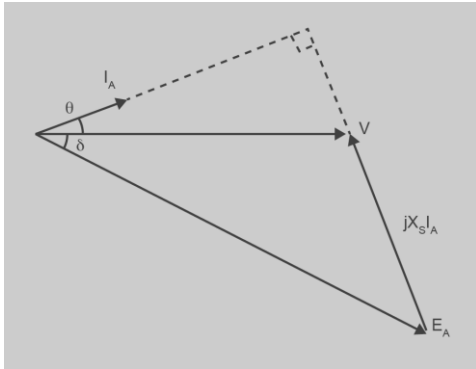
- n: velocitat angular del motor
- f: freqüència de la corrent d'alimentació
- p: parell de pols del motor

L'equivalent per fase del motor síncron és el següent :



Il·lustració 11 Equivalent per fase del motor síncron.

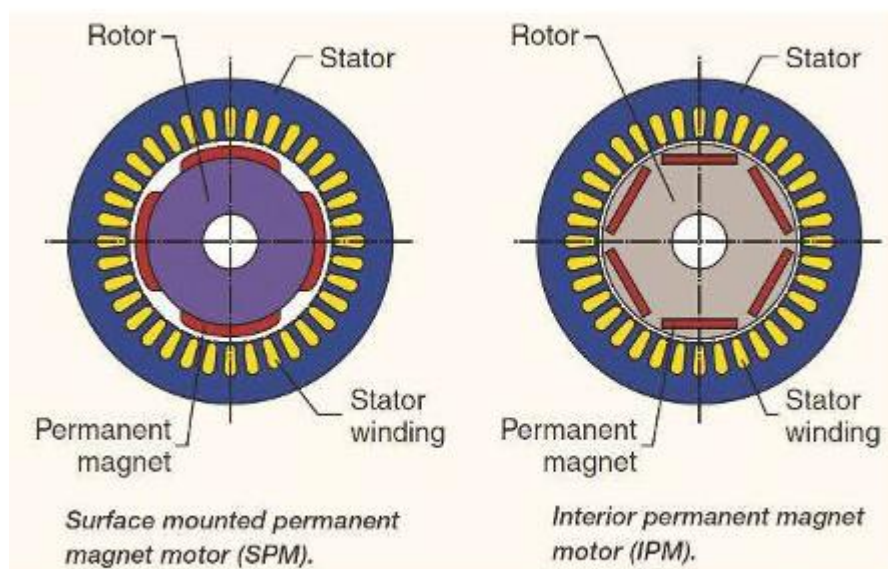
En augmentar la càrrega del motor, com que la f.e.m. ( $E_A$ ) serà constant si el corrent d'excitació és constant, farà augmentar el corrent ( $I$ ) i augmentarà la caiguda de tensió en la reactància síncrona ( $X_s$ ), cosa que es tradueix en una reducció de la tensió de sortida ( $V$ ). Es pot veure representat l'esquema simplificat



Il·lustració 12 Diagrama per fase del motor síncron.

### 3.4.2 Motor síncron amb imants permanents

El tipus de motor síncron utilitzat per a aplicacions de tracció en vehicles és el motor síncron amb imants permanents. Aquests motors tenen avantatges importants, com ara alta eficiència, reduït volum, pes lleuger, alta fiabilitat i sense manteniment, etc., per la qual cosa atreuen l'interès de la indústria dels vehicles elèctrics. És un motor que utilitza imants permanents incrustats o adherits al rotor per generar el camp magnètic a l'espai d'aire en lloc d'utilitzar electroimants. Com es pot distingir a la il·lustració 13, existeixen dues tipologies segons el disseny del rotor:



Il·lustració 13 Tipus de motor amb imants permanents segons la construcció del rotor.

A la il·lustració es mostren les dos tipologies existents d'aquest tipus de motor segons la construcció del rotor. El tipus SPM (Surface Permanent Magnet) on els imants es troben adherits a la superfície del rotor, mentre que a la construcció IPM (Internal Permanent Magnet) els imants estan incrustats dins del rotor.

Per a aplicacions de tracció de vehicles es sol triar el model IPM davant del SPM perquè aquest és més robust que el SPM que és mecànicament dèbil a aplicacions d'elevada velocitat. Llavors com la tipologia IPM és més resistent a altes velocitats queda justificada la seua elecció.

Cal diferenciar entre els motors síncrons a imants permanents amb escombretes i els motors síncrons a imants permanents sense escombretes. La diferència entre un i l'altre és la presència de les escombretes que estableixen una connexió elèctrica entre una part fixa i una part rotatòria en un dispositiu. És el cas dels motors o generadors elèctrics, on cal establir una connexió de la part fixa de la màquina amb les bobines del rotor. Per realitzar aquesta connexió es fixen en l'eix de gir dos anells, generalment de coure, aïllats elèctricament d'aquest eix i connectats als terminals de la bobina rotatòria. Davant d'aquests anells es disposen uns blocs de carbó que, mitjançant uns ressorts, fan pressió sobre ells establint el contacte elèctric necessari. Aquests blocs de carbó es denominen escombretes, les quals es desgasten per abrasió i s'han de substituir al temps.

### 3.5 Carregador

El carregador és l'encarregat d'absorbir l'electricitat en forma alterna, directament des de la xarxa elèctrica i la transforma en corrent contínua, la qual es emmagatzemada en la bateria. En aquesta part s'introduiran els diferents tipus de connectors, modes de recàrrega, i mètodes de càrrega, i mètodes de control.

#### 3.5.1 Tipus de connectors

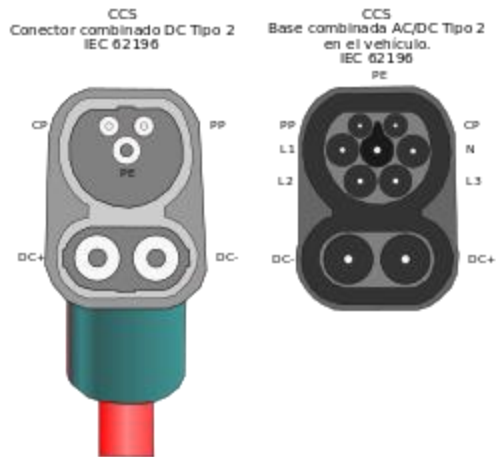
Els cotxes elèctrics poden utilitzar connectors convencionals com els que s'utilitzen en aparells elèctrics amb aplicacions de menor escala com per exemple d'un assecador. Aquests connectors reben el nom de connectors domèstics tipus Schuko i responen a l'estàndard CEE 7/4 Tipus F, compatible amb les preses de corrent europees. Aquest connector disposa de dos borns i un element de protecció o presa de terra.

A més del connector convencional esmentat anteriorment, es tenen els següents tipus de connectors:



Il·lustració 14 Tipus de connectors.

- Connector Tipus 1 o SAE J1772. A aquest connector també se li denomina Yazaki. Es tracta d'un estàndard americà i, a diferència de l'anterior, és específic per a vehicles elèctrics. Amb un diàmetre de 43 mil·límetres, disposa de cinc borns, dos per a corrent, el de protecció o de terra i dos complementaris destinats a el control de mobilitat de cotxe i de la comunicació amb la xarxa.
- Connector tipus 2 o Mennekes. Es tracta d'un connector alemany de tipus industrial. Amb un diàmetre de 55 mil·límetres, disposa de set borns, quatre per a corrent, el de terra i dues per a la comunicació amb la xarxa.
- Connector Tipus 3 o Scame. Aquest connector pot disposar de cinc o 7 borns segons es vulgui connectar a corrent monofàsica o trifàsica, un terra i un de comunicació a la xarxa. Admet fins a 32 A.
- Connector CHAdeMO. L'estàndard d'aquest connector per preferència dels fabricants japonesos. Permet la càrrega ràpida de corrent continu amb potències de fins a 50 kW.
- Connector COMBO2. Es tracta d'una solució estàndard proposada per nord-americans i alemanys per a poder carregar en corrent alterna i contínua. Té cinc borns, destinats a el pas del corrent, el de protecció i el de comunicació amb la xarxa al connector (mascle). Per contra la base combinada al vehicle (femella), està formada per 7 borns destinats a la càrrega en corrent alterna i 5 borns per a la contínua. Com es pot observar a la següent il·lustració.



Il·lustració 15 Connector COMBO2 mascle i femella.

### 3.5.2 Modes de recàrrega

Avui en dia, un dels reptes dels enginyers es reduir el temps de recàrrega dels vehicles elèctrics, el qual és molt llarg en comparació al temps que tarda un depòsit d'un vehicle de combustió en omplir-se.

En l'actualitat existeixen diferents tipus de carregadors, uns de càrrega ràpida i altres de càrrega lenta. Els qual es diferencien per la seua velocitat de càrrega i el temps que tarda en carregar la bateria del vehicle en qüestió. Els punts de recàrrega d'un vehicle elèctric solen estar situats en habitatges o a la via pública i fotolineres.

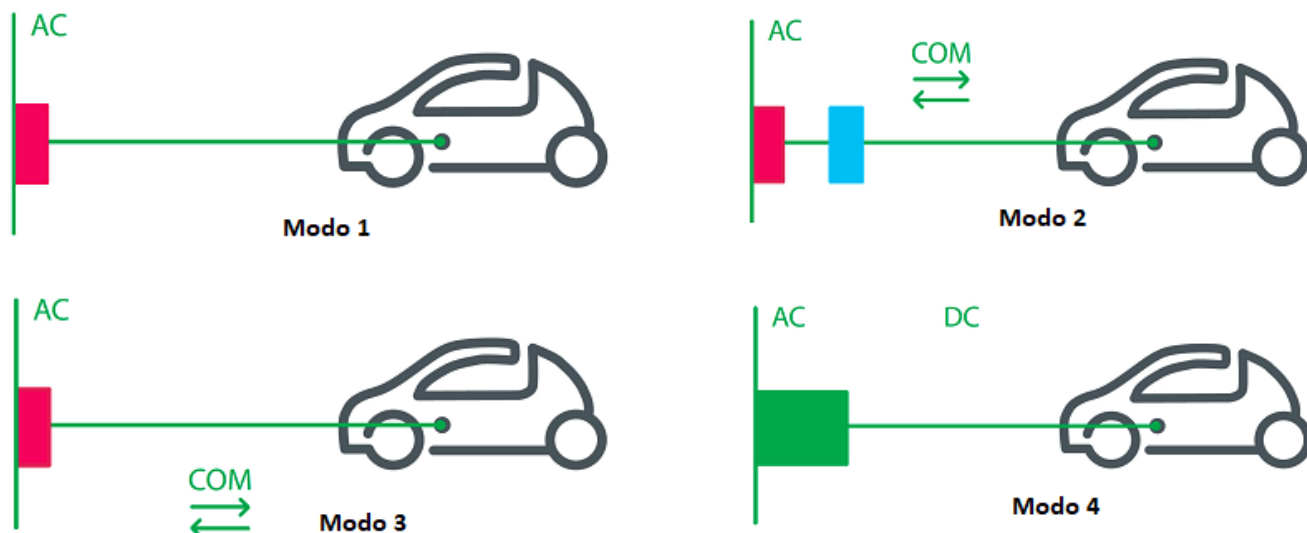
Dins de l'àmbit domèstic ha dos tipus de recàrrega:

- Recàrrega estàndard lenta. La intensitat de corrent queda limitada a 16 A. El temps de recàrrega per a aquest tipus s'estima entre 8-10 hores.
- Recàrrega estàndard ràpida. La intensitat de corrent es limita a 32 A amb una demanda de potència de 7,4 kW.

Per punts de recàrrega en via pública i electrolineres es té:

- Recàrrega semi-ràpida. Les potències demandades ronden dels 11 kW. Aquest tipus de recàrrega sol tenir una durada d'aproximadament 1 hora.
- Recàrrega ràpida. Aquest tipus de recàrrega és habitual en les fotolineres a on la demanda de potència puja a uns 50 kW. Permet recàrregues amb una durada d'aproximadament 30 minuts.

D'altra banda, actualment, i segons l'estàndard europeu, comptem amb 4 modes de recàrrega, tres en corrent alterna i un en contínua. Cadascun s'adapta a una situació diferent i al tipus de vehicle. A continuació detallem cadascun d'ells:



Il·lustració 16 Modes de recàrrega.

#### Mode 1 :

En aquesta manera no existeix comunicació cap entre la presa i el vehicle. A més, es tracta d'una presa Schuko domèstica, per la qual cosa el punt de recàrrega no està destinat específicament a la recàrrega del vehicle. És una càrrega lenta, monofàsica, en alterna i amb una intensitat màxima de 16 A i voltatge de 230 V, per la qual cosa la potència màxima de càrrega és de 3,7 kW.

Aquesta presa no té seguretat ni protecció, per la qual cosa el seu ús està més indicat per a la recàrrega de ciclomotors, bicicletes o patinets elèctrics. També la poden utilitzar els cotxes elèctrics i les motocicletes de gran bateria, però el seu ús no és recomanable, tant per seguretat com per demora del temps de recàrrega.

#### Mode 2 :

Es tracta d'un mode exactament idèntic que el 1, però amb la diferència que el cable equipa un sistema de protecció i un interruptor diferencial, d'aquesta manera s'evita qualsevol problema de connexió amb la xarxa activant o desactivant la recàrrega, una forma d'afegir seguretat en el procés i un grau baix de comunicació entre punt i vehicle.

Normalment, la Mode 2 compta amb una caixa de recàrrega amb un connector Schuko, i el cable es connecta des del vehicle amb aquesta connector, però amb l'afegit del sistema de protecció que hem comentat anteriorment.



Es tracta per tant d'una recàrrega lenta, monofàsica, en alterna i amb una intensitat que normalment és de 16 A, un voltatge de 230 V i una potència estàndard de 3,7 kW. Aquest mode és ideal per a cotxes elèctrics amb una bateria petita o híbrids endollables, encara que també per a motocicletes elèctriques.

#### Mode 3 :

Aquest mode és el que s'està estandarditzant en les recàrregues de destí, com pot ser la nostra llar, el lloc de treball o els garatges comunitaris, així com centres comercials, restaurants, hotels o altres establiments. És el que coneixem col·loquialment com Wallbox, i la seva funció és únicament per a la recàrrega de vehicles elèctrics o híbrids endollables.

Incorpora diversos sistemes de protecció necessaris per a la seguretat de la instal·lació elèctrica i del vehicle, així com de control per a monitoritzar i detectar la recàrrega, per la qual cosa el grau de comunicació entre punt i vehicle és alt. La recàrrega és semirápida i es realitza mitjançant un cable que uneix punt i vehicle.

Utilitza corrent altern i actua com a monofàsica i, en cas que es pugui, també en trifàsica. La intensitat normal és de 32 A, per la qual cosa la potència màxima és de 7,4 kW. No obstant, si la recàrrega és en trifàsica, la intensitat pot ser de fins a 63 A i fins a un màxim de 43 kW.

En aquest mode de recàrrega, necessitarem un connector Tipus 2 (Mennekes) o Tipus 1 (SAE J1772), depenent del que utilitzi el vehicle, encara que actualment el 90% de vehicles utilitza el Tipus 2.

#### Mode 4 :

Aquesta mode està destinat a la recàrrega ràpida en corrent continu gràcies al transformador d'alterna a contínua que incorpora. Generalment el trobem en punts de recàrrega públics, ja que el seu elevat cost limita el seu ús a aquest àmbit.

En aquest cas, el cable ja ve incorporat en el punt de recàrrega, per la qual cosa només cal connectar el costat del vehicle. Les recàrregues són de mínim 50 kW, la qual cosa suposa que en mitja hora podem recarregar pràcticament el 80% de la bateria del nostre cotxe elèctric, sempre depenent de la capacitat de la bateria. No obstant, la potència de recàrrega també pot ser ultrarápida, podent arribar fins als 350 kW. Els connectors que utilitzem són el CCS Combo i el CHAdeMO.

La comunicació entre el punt de recàrrega i el vehicle és total. Així mateix, cal remarcar que s'ha d'evitar abusar d'aquest mode de recàrrega, ja que a la llarga pot danyar la bateria del vehicle i precipitar la seva deterioració.

En l'actualitat els modes que s'estan convertint com l'estàndard, són el 3 i el 4, per la qual cosa la comunicació entre punt i vehicle és essencial per al desenvolupament òptim del procés de recàrrega.

### 3.5.3 Mètodes de recàrrega

#### Voltatge constant

Un carregador de voltatge constant és bàsicament una font d'alimentació de CC que en la seva forma més simple pot consistir en un transformador de pas de la xarxa amb un rectificador per proporcionar el voltatge i carregar la bateria. Les cel·les d'àcid de plom usades per a automòbils i sistemes d'energia de suport solen utilitzar carregadors de voltatge constant. A més, les cèl·lules de ions de liti també els utilitzen sovint, encara que solen ser més complexos amb la finalitat de protegir tant les bateries com la seguretat de l'usuari. És una de les tecnologies més utilitzades gairebé en qualsevol química de bateries sobretot en els carregadors de bateries de cotxes barats.

#### Corrent constant

Els carregadors de corrent constant varien el voltatge que apliquen a la bateria per mantenir un flux de corrent constant, apagant quan la tensió arriba al nivell d'una càrrega completa. Aquest disseny es fa servir generalment per bateries o bateries de níquel-cadmi i níquel-metall-hidrur. El desavantatge principal que presenta és la dificultat d'establir el punt de càrrega completa. Hi ha diversos mètodes per determinar-lo, encara que normalment es fa servir una combinació entre els límits d'increment de temperatura, increment de tensió i temps de càrrega.

#### Corrent no controlada

La càrrega es produeix des d'una font de voltatge constant no regulada. El corrent disminueix de manera natural a mesura que s'acumula el voltatge de la cel·la en els borns de la bateria. Hi ha el perill de danyar les cèl·lules per sobrecàrrega. Per evitar això, la velocitat de càrrega i la durada han de ser limitades. Només es fan servir per a bateries SLA ja que són les úniques que té bona tolerància a les sobrecàrregues.

#### Càrrega per polsos

Es basa en carregar la bateria mitjançant polsos de corrent d'una durada determinada. La velocitat de càrrega (basada en el corrent mitjana) pot controlar amb precisió variant l'amplada

dels impulsos. Durant el procés de càrrega, els períodes de repòs curts (de 20 a 30 mil·lisegons entre impulsos) permeten que les accions químiques en la bateria s'estabilitzin igualant la reacció en tota la massa de l'elèctrode abans de reiniciar la càrrega. Un desavantatge d'aquest mètode és que pot produir reaccions químiques no desitjades en la superfície de l'elèctrode com ara formació de gasos o el creixement de cristalls.

#### Càrrega de flotador (float charge)

La bateria i la càrrega es connecten permanentment en paral·lel a través de la font de càrrega de CC i es mantenen a una tensió constant per sota el límit de tensió superior de la bateria. S'usa per a sistemes de suport d'emergència. S'utilitza principalment amb bateries de plom àcid.

#### 3.5.4 Mètodes de control

##### Corrent constant-Voltatge constant (CC-CV)

Aquesta tecnologia combina la càrrega a tensió constant i la càrrega a corrent constant. S'utilitza per carregar bateries de liti i altres que poden ser vulnerables a danys si es sobrepassa el límit de tensió superior. La taxa de càrrega de corrent constant especificada pel fabricant és la velocitat de càrrega màxima que la bateria pot tolerar sense danyar la bateria. Es necessiten precaucions especials per maximitzar la taxa de càrrega i per assegurar-se que la bateria està completament carregada mentre que a el mateix temps evita la sobrecàrrega. Per aquesta raó, es recomana que el mètode de càrrega canviï a tensió constant abans que la tensió de la cel·la arribi al seu límit superior. Cal tenir en compte que això implica que els carregadors de les cèl·lules de ions de liti han de poder controlar tant el corrent de càrrega com el voltatge de la bateria.

Per mantenir la velocitat de càrrega de corrent constant especificada, la tensió de càrrega ha d'augmentar a l'uníson amb la tensió de la cel·la per superar l'EMF posterior de la cèl·lula a mesura que es carrega. Això passa molt ràpidament durant la manera de corrent constant fins que s'arriba al límit de tensió superior de cel·la, després de la qual cosa es manté la tensió de càrrega a aquest nivell, conegut com nivell de flotador, durant la manera de tensió constant. Durant aquest període de tensió constant, el corrent disminueix a una càrrega de degoteig a mesura que la càrrega s'aproxima a la terminació. El tall es produeix quan s'ha arribat a un punt de corrent mínim predeterminat, que indica una càrrega completa.

### Sistema de càrrega intel·ligent

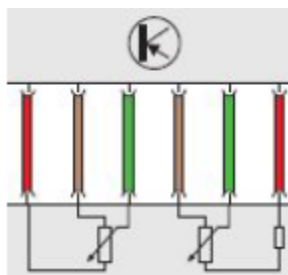
La bateria i la càrrega es connecten permanentment en paral·lel a través de la font de càrrega de CC i es mantenen a una tensió constant per sota el límit de tensió superior de la bateria. S'usa per a sistemes de suport d'emergència. S'utilitza principalment amb bateries de plom àcid.

## 3.6 Accelerador i fre

Els pedals d'acceleració i fre son una de les comandes clau i indispensables del vehicle i serveixen per a que el pilot es comuniqui amb el controlador per indicar-li a la velocitat que vol circular i en el cas de que ho necessite, que el motor frene.

Antigament, en els vehicles de combustió s'utilitzava un pedal mecànic per l'acceleració i un altre per a la frenada. Actualment aquests són de caràcter electrònic.

En el cas de l'accelerador, el sensor de posició del pedal de l'accelerador (APP) és del tipus potenciomètric. El sistema consta de dos potenciómetres connectats al pedal de l'accelerador. Quan el pedal de l'accelerador està enfonsat, hi ha una senyal de tensió enviat al controlador que informa al conductor de la posició del pedal de l'accelerador i, per tant, de la posició física del peu del conductor i aleshores de la demanda.



Il·lustració 17 Potenciòmetres de l'accelerador.

Aquests dos potenciómetres s'utilitzen com a control de plausibilitat i també per garantir un cert grau de seguretat operativa.

En respecte al pedal del fre, la possibilitat que ofereix el motor elèctric de modificar el seu comportament i convertir-se en generador d'energia i recarregar la bateria fa sovint una frenada mecànica dels vehicles elèctrics i dels híbrids recarregables. Tot i això, sempre són aquests dos els que intervenen alhora en el procés de frenada.

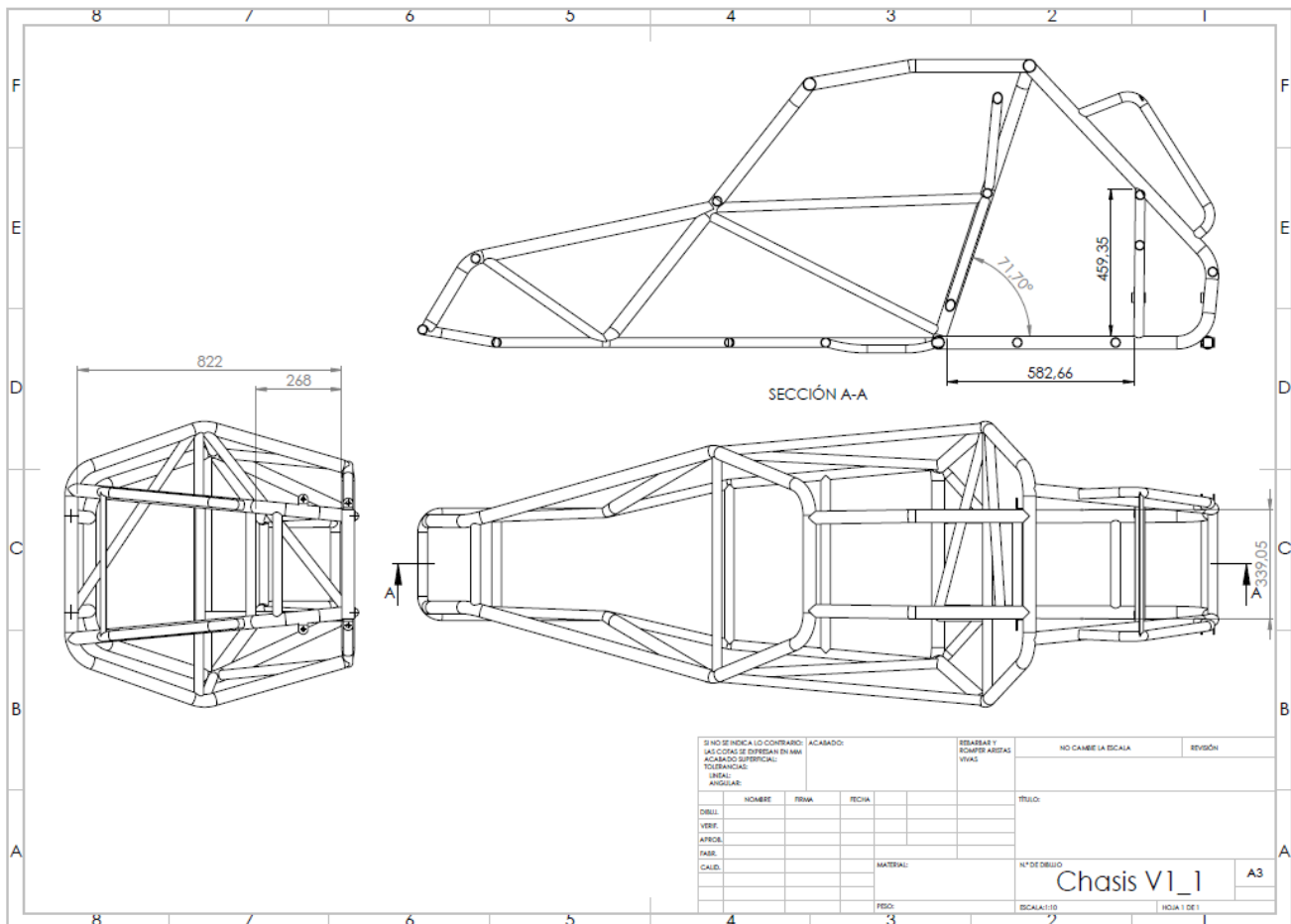
### **3.7 Elements auxiliars**

Aquests elements són particulars de cada vehicle i on el dissenyador decideix quins incloure i quins no. Entre aquests es pot trobar la clau de contacte, palanques de marxes o modes de funcionament, interruptors de seguretat, una caixa de connexions, transformadors, elements de refrigeració i també en certs casos equips externs de radiocomunicació i comunicació GPS per exemple.

## 4. LLISTA DE REQUERIMENTS

Aquest projecte té com a finalitat de dissenyar el sistema elèctric d'un kart cross elèctric. El kart serà destinat inicialment per a l'ensenyament i més endavant per a investigació i competicions de karts. És per això que s'ha de triar una configuració òptima per obtenir el millor rendiment en funció de les especificacions i característiques físiques dels sistema. Aleshores es realitza una llista de requeriments per al dimensionament del vehicle :

- Massa del kart: 250kg.
- Massa mitja del pilot: 80kg.
- Rang de velocitat: [0,80] km/h.
- Acceleració mínima:  $a=0,5m/s^2$ .
- Autonomia: 30-40 minuts.
- Superfície davantera:  $A_f= 0,09086 m^2$ . (calculada amb els plans d'Autocad)
- Diàmetre de les rodes: 50,8cm.
- Coeficient d'arrossegament de les rodes:  $C_d=0,2$

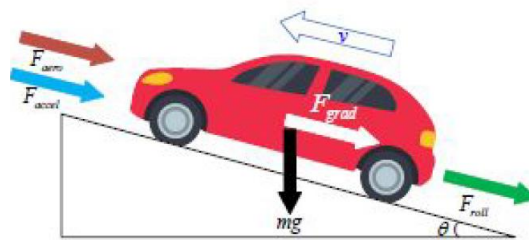


Il·lustració 18 Xassis del kart en AUTOCAD.

## 5. DIMENSIONAMENT DEL VEHICLE

A l'hora de dimensionar un vehicle, el més important és conèixer o calcular la potència necessària per a que el vehicle acompleix les característiques presents a la llista de requeriments. En general, per a la modelització d'un vehicle implica l'equilibri entre totes les forces que actuen quan el vehicle està en moviment, com il·lustrat a la il·lustració 19. Després, una vegada fet aquest equilibri de forces caldrà calcular la potència màxima necessària.

Les forces es classifiquen en dos categories : força de tracció i forces de resistència. La força de tracció és la proporcionada pel motor i comunicada a les rodes mitjançant una transmissió mecànica. Les forces de resistència són: la força gravitacional, la força de resistència al rodament de les rodes, la força d'arrossegament aerodinàmica i la força d'escalada. Tenint en compte tots aquests factors, es pot descriure el model dinàmic del vehicle que regula la cinètica de les rodes i del vehicle com es pot veure en la següent il·lustració:



Il·lustració 19 Diagrama de forces.

$$F_{wheel} = F_{aero} + F_{roll} + F_{grad} + F_{accel}$$

Mitjançant el diagrama de forces, es pot veure que la força de tracció de les rodes ha de ser igual a les forces resistives per a que el vehicle pugui pujar una pendent a velocitat constant.

$F_{aero}$  es la força d'arrossegament aerodinàmica que fa part de la força que s'oposa al moviment. Aquesta és resultat de la presència de l'aire el qual s'oposa al seu propi moviment. Aquesta força, aleshores depèn de la superfície davantera del vehicle, dels elements sortints (retrovisors laterals), dels espais d'aire buit i altres nombrosos factors. Per simplificar-los, la força d'arrossegament aerodinàmica es pot calcular amb l'equació següent:

$$F_{aero} = 0.5\rho C_d A_f V^2$$

On  $\rho$  és la densitat de l'aire ( $1,28 \text{ kg/m}^3$ ),  $C_d$  és el coeficient de fregament,  $A_f$  és la part davantera del vehicle en  $\text{m}^2$  i  $V$  la velocitat màxima a la que volem que pugui pujar una rampa.

Disseny del sistema elèctric d'un kart cross amb tracció elèctrica

$F_{roll}$  és la força de resistència al rodament de les rodes causada pel fregament d'aquestes amb la superfície de la ruta. Aquesta força de resistència ve donada per l'equació següent:

$$F_{roll} = C_{rr} mg \cos \alpha$$

On  $C_{rr}$  (també anomenat  $\mu_{rr}$ ) és el coeficient de fregament amb el pis,  $m$  és la massa del vehicle (kg), i  $g$  és l'acceleració gravitacional de la terra ( $m/s^2$ ).

$F_{grad}$  és la força gravitacional i  $F_{acc}$  és la força d'acceleració i són les següents:

$$F_{grad} = mg \sin(\alpha)$$

$$F_{acc} = ma$$

Per al dimensionament, es prendran certs valors per defecte per a poder fer el càlcul d'una manera correcta.

Primerament, respecte a l'angle  $\alpha$  es farà la següent aproximació: legalment, la pendent màxima d'una rampa és del 16% (16m d'alt per cada 100m en horitzontal). Però, en la realitat no és així, i en alguns casos pot arribar a ser del 20% perquè en certs casos on no hi ha suficient espai és permet sempre que la mitja sigui del 16%. Aleshores, per una pendent del 20%, l'angle  $\alpha=11,3^\circ$ .

Segonament, com a valor del coeficient  $\mu_{rr}$  es prendrà un valor adaptat a l'ús del vehicle. En el cas de l'asfalt, aquest coeficient varia entre [0,005, 0,015]. Aquesta superfície és la més corrent, però no és l'única. Però, el kart cross està fet per a circular per més terrenys, com arena per exemple. És per això que es prendrà el valor del  $\mu_{rr} = 0,3$ , valor del coeficient de fregament de l'arena.

Finalment, prenent els valors de la taula següent, es segueix amb el càlcul i dimensionament del vehicle.

<b>Cd</b>	0,2	<b>M<sub>Pilot</sub></b>	80 kg
<b>M<sub>Kart</sub></b>	250 kg	<b>V<sub>max</sub></b>	22,22 m/s
<b><math>\alpha</math></b>	11,3°	<b>d</b>	0,508 m
<b><math>\mu_{rr}</math></b>	0,3	<b>acc</b>	0,5 m/s <sup>2</sup>
<b>p</b>	1,28 kg/m <sup>3</sup>	<b>A<sub>r</sub></b>	0,09086 m <sup>2</sup>

Taula 1 Constants utilitzades per al càlcul.



Disseny del sistema elèctric d'un kart cross amb tracció elèctrica

A continuació, es realitza una aplicació numèrica de les equacions precedents per a obtenir els valors de cada força:

F aero	5,74 N
F roll	951,39 N
F grad	633,69 N
F acc	165 N

Taula 2 Resultats de les aplicacions numèriques.

La força de tracció, que és igual a la suma de totes les forces resistives, és igual a:

$$F_T = 1755,83 \text{ N}$$

La potència màxima, que el vehicle necessitarà doncs per a poder pujar una pendent del 20% en una superfície d'arena a la seua velocitat màxima. L'equació per a obtindre una potència en W és  $P = F \cdot V$  essent F la força necessària (en Newtons) i V la velocitat màxima (en  $\text{m/s}^2$ ), llavors:

$$P_{\max} = 39 \text{ kW}$$

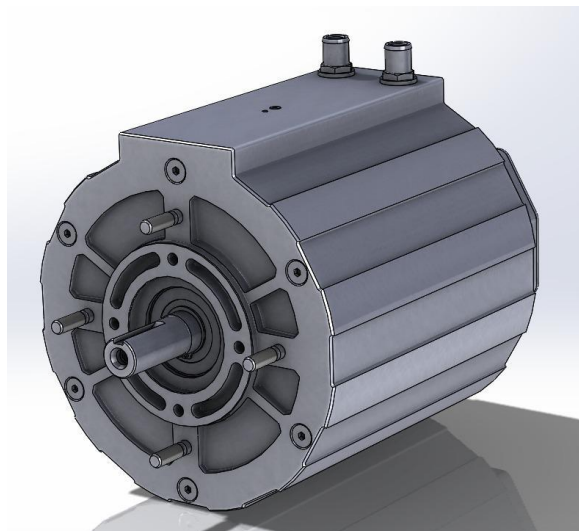
Coneixent la potència màxima que necessita generar el sistema elèctric del kart, es podran dimensionar i seleccionar els components d'una manera més òptima.

## 6. DISSENY I DIMENSIONAMENT DELS COMPONENTS

En aquesta part, es va a dissenyar i dimensionar els components del kart un a un seguint un ordre lògic. Primerament, com ja s'ha calculat la potència màxima necessària del kart, es buscarà un motor adequat que ofereix la potència desitjada. Segonament, s'elegeix el controlador que recomane el fabricant del motor ja que com s'ha dit ; la selecció del controlador ve determinada per les restriccions que imposa el motor i normalment és el fabricant del motor qui ens recomana un controlador per a la funció desitjada. Tercerament, com tindrem coneixement de quanta energia elèctrica en forma de corrent i tensió continua necessita el sistema dissenyarem la bateria al respecte. Una vegada els tres components més importants estan dissenyats, cal seguir amb els secundaris. Com són per exemple la selecció d'un BMS per a la bateria i el disseny d'un carregador ja que la bateria és recarregable. També caldrà seleccionar altres components com poden ser els pedals d'acceleració i frenada, un transformador DC/DC, circuit de refrigeració, etc...

### 6.1 Motor

Primerament, cal seleccionar quin tipus de motor síncron utilitzarem. En el nostre cas, com nosaltres volem un motor per a un kart (automòbil), seleccionarem el motor síncron amb imants permanents sense escombretes. Per a un vehicle elèctric es necessita un motor amb alta eficiència, reduït volum, pes lleuger, alta fiabilitat i sense manteniment. Aleshores la millor selecció és el motor síncron amb imants permanents sense escombretes.



Il·lustració 20 Motor síncron amb imants permanents i sense escombretes.

Una vegada la tipologia del motor es seleccionada, mitjançant una taula de decisions després d'un anàlisi i selecció prèvia s'estudiaran dos motors síncrons amb imants permanents i sense escombretes per a veure quin motor s'adapta millor a les exigències del nostre kart en funció de les característiques que es consideren que son més importants i notats amb un pes (importància sobre 5) i un valor (rendiment sobre 5).

	5	5	25	5	25
	5	5	25	5	25
	4	5	20	5	20
	3	4	12	3	9
	2	3	6	4	8
	5	5	25	3	15
	4	5	20	4	16
	1	3	3	4	4
	2	4	8	5	10
	5	5	25	5	25
	2	5	10	4	8
	38	49	179	47	165

Taula 3 Taula de selecció del motor.

Vista la taula de decisions, s'ha optat pel motor ENGIRO de 19kW, perquè segons el criteri marcat és el millor. Aquest és un motor síncron a imants permanents sense escombretes, d'alta potència per a aplicacions de motor, refrigerat amb aigua, i interfície HM (Human-Machine) incorporada.

Des que el motor és seleccionat, es calcula la relació de transmissió per a així poder dimensionar la transmissió entre el motor i les rodes. La relació de transmissió és el coeficient entre la velocitat angular del motor en funcionament nominal (en rpm) entre la velocitat angular de les rodes a velocitat màxima (80km/h). En aquest cas serà per cadena, la transmissió. Mitjançant la datasheet del motor situada a l'annex, farem els següents càlculs per obtenir la relació de transmissió:

1. Primerament, es calcula la velocitat angular a les rodes a velocitat màxima mitjançant l'equació :

$$w = \frac{v}{r} = \frac{80\text{km/h}}{0,254\text{m}} = \frac{22,22\text{m/s}}{0,254\text{m}} = 87,48 \text{ rad/s}$$

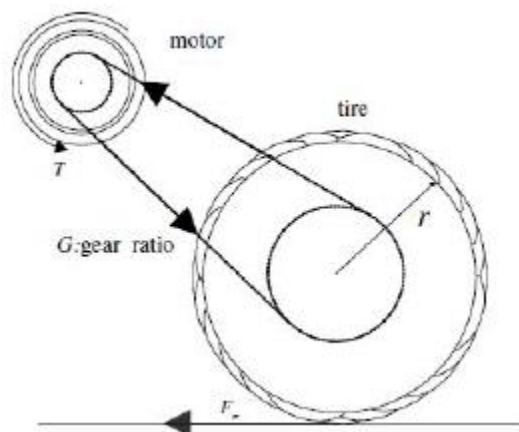
2. Segonament, es transforma la unitat de rad/s a rpm (revolucions per minut).

$$n = 87,48 \text{ rad/s} \cdot \frac{1 \text{ volta}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 835,37 \text{ rpm}$$

3. Finalment, es pren el valor de la velocitat angular del motor en funcionament nominal de la datasheet ( $n_{nom}=2360 \text{ rpm}$ ). Doncs la relació de transmissió G és:

$$G = \frac{n_{nom}}{n} = \frac{2360 \text{ rpm}}{835,37 \text{ rpm}} = 2,82$$

Ara, utilitzant la relació de transmissió G, es pot calcular el par màxim que pot demandar el vehicle en carretera. Utilitzant el següent esquema i equació, s'obtindrà el par màxim que el motor haurà d'oferir per així verificar que és una bona elecció i acomplirà les seues funcions de la manera esperada.



Il·lustració 21 Esquema de la transmissió Motor-Roda.

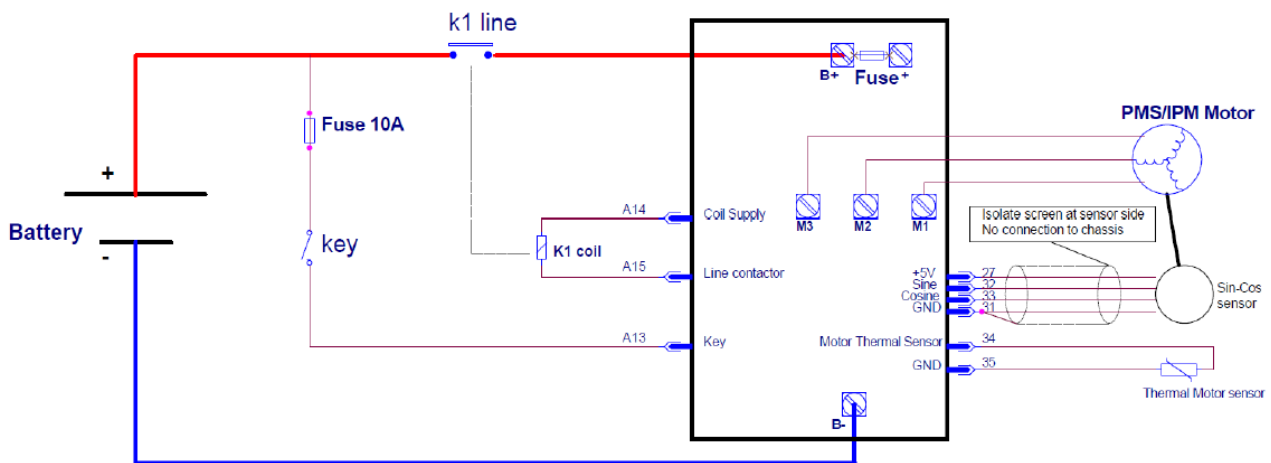
$$T = F \cdot \frac{r}{G} = 185,15 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Com s'ha calculat, el sistema elèctric tindrà una demanda de par motor màxim de 185,15N·m, a la datasheet es mostra que el motor ENGIRO de 19 kW seleccionat ofereix un par motor màxim de 189 N·m. Aleshores es pot concloure que aquest motor haurà de poder fer funcionar el sistema del kart correctament.

## 6.2 Controlador

Una vegada s'ha seleccionat el motor ENGIRO de 19kW de potència nominal, l'empresa venedora recomana un controlador específic per utilitzacions de tracció en automòbils per a que el motor pugui acomplir les exigències de la llista de requeriments. S'ha aconsellat fortament el "SuperSigma2 ADM for Permanent Magnets Synchronous motors". Com s'ha comentat abans, cada motor té correntment un controlador associat o específic per a la seua potència i utilització.

El que s'esdevé essencial per al dimensionament i futura programació del autòmat, es conèixer el nombre d'entrades/eixides del controlador, la funció de cada i el seu cablejat de potència.



Il·lustració 22 Cablejat de potència.

En aquesta il·lustració, es presenta el cablejat elèctric que es troba a la datasheet del SuperSigma2, en aquesta es veuen dos connexions entre els tres blocs principals del kart: connexió bateria-controlador i connexió motor- controlador.

D'una banda, la connexió bateria-controlador es realitza mitjançant els borns B<sup>+</sup> i B<sup>-</sup> del controlador. Per a posar en marxa el kart s'acciona el contactor key (girant la clau de contacte del kart), que activa el pin A13. Una vegada aquest està tancat, s'alimenta la bobina de contacte la qual mitjançant un relé (pins A14-A15) tanca l'interruptor K1 el qual permet alimentar el nostre sistema amb energia elèctrica. A més, aquest funciona com a mecanisme de seguretat i si es necessari, el controlador pot tallar l'alimentació de la bobina i aleshores obrir el contacte K1.

D'altra banda, la connexió motor-controlador, es realitza mitjançant tres connexions, M1, M2 i M3. Aquests tres són les tres línies d'alimentació del sistema trifàsic del motor les quals controlen el motor amb un tipus de control vectorial. Tanmateix, en aquest cablejat apareix la part de retroalimentació del motor al controlador amb un sensor sin-cos per a detectar la posició del motor i així que el controlador adapte la seua comanda. A més, també inclou un sensor de temperatura per seguretat del motor.

Més endavant, en el següent apartat (apartat 7 del TFG), s'estudiarà a fons el manual del controlador seleccionat, el seu funcionament, com s'ha de programar i paràmetres a tindre en compte.

### 6.3 Bateria

Les bateries en què se centrarà aquest estudi són les anomenades bateries d'ió-liti, nom que reben pel fet que és el liti el compost que proporciona els ions. L'elecció del liti com a substància base de l'electròlit es deu al fet de que el liti és un compost on la separació d'ions és fàcilment realitzable sempre que se li proporcioni l'energia necessària. Aquesta energia ve aportada per la font d'alimentació a la qual es connecta la bateria per a la seva càrrega.

Dins de l'equip d'enginyers elèctrics s'està dissenyant una bateria d'ió liti d'un voltatge entre 60/96V com bé s'especifica al manual del motor. Però el desenvolupament d'aquesta tecnologia és molt costosa i degut a l'epidèmia causada pel COVID-19 ens ha retardat un poc. Aquest fet ens ha dut a dimensionar dos bateries diferents, una que està en procés (una bateria de plaques d'ió liti) i una altra formada per un conjunt de cel·les en sèrie i paral·lel. Llavors, en aquest treball s'explicarà la segona que és la que s'ha tingut temps de dimensionar.

Per al càlcul de la bateria, primer es calcula quantes cel·lules en sèrie necessitem per aconseguir una tensió entre 60/96V. La tensió nominal de les cel·les d'ió liti és normalment de 3,6V, és per això que utilitzant 23 cel·les en sèrie s'obtindrà un voltatge nominal de la nostra bateria de 82,8V. La corrent de descàrrega estàndard en continua és de 20A per cel·la, llavors per branca n'hi haurà una corrent de 20A.

El sistema del kart necessita una potència nominal d'alimentació de 19kW i s'ha d'alimentar amb una tensió de 82,8V, la intensitat necessària serà:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{19000}{82,8} = 229,46 \text{ A}$$

Disseny del sistema elèctric d'un kart cross amb tracció elèctrica

Donat que cada branca té una intensitat igual a 20A, per alimentar el kart a una potència nominal de 19kW s'han d'afegir 12 branques en paral·lel mínim. Aleshores tindrem una corrent de 240A i per conseqüència una potència de 19,872kW.

Però, com el sistema necessita una potència màxima de 39kW, però el voltatge de 82,8V es manté, i cal tornar a calcular la intensitat necessària del sistema:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{39000}{82,8} = 471 \text{ A}$$

Per a assegurar un funcionament correcte caldrà ajustar el nombre de branques en paral·lel a 24, per poder alimentar el sistema amb 480A i aleshores alimentar el sistema amb una potència màxima de 39,744kW.

Després d'un anàlisi de les diferents cel·les, s'han seleccionat cel·les de bateria de liti original recarregable de Samsung 25R INR18650 3,6 Voltis 2,500 mAh. Com la bateria s'ha dimensionat per a tenir una tensió de 82,8V, composta per 24 branques de 23 cel·les cada una, s'han necessitat 552 cel·les Samsung per acomplir les exigències del sistema.

Per comprovar que el kart compleix les exigències de la llista de requeriments es va a calcular l'autonomia del kart mitjançant la relació entre l'energia amb la que el sistema alimenta al kart i la potència que consumeix el mateix.

Analitzant la datasheet del motor a la gràfica on apareixen representades la velocitat en rpm i la potència en kW es conclou que un consum mig de  $P=10\text{kW}$ .

Paral·lelament, s'analitza l'energia amb la que el paquet de bateries alimenta el sistema. Cada cel·la té una capacitat de 2,5 Ah. Les cel·les connectades en sèrie la capacitat és la mateixa, i entre les cel·les connectades en paral·lel es sumen les capacitats. Aleshores, com s'han dissenyat 24 branques en paral·lel amb 23 cel·les en sèrie cada una s'obté una capacitat de 60 Ah. Doncs es determina que l'energia ( $E=c \cdot V$ , essent c la capacitat en ampers hora i V el voltatge en volts) amb la qual s'alimenta el sistema és  $E=4,968 \text{ kWh}$ , calculada amb el valor de voltatge obtingut abans de 82,8V.

Per tant, amb les dades que s'han determinat anteriorment es calcula l'autonomia del kart en aquestes condicions descrites abans:

$$t = \frac{E}{P} = \frac{4,968}{10} = 0,4968 \text{ h}$$

Disseny del sistema elèctric d'un kart cross amb tracció elèctrica

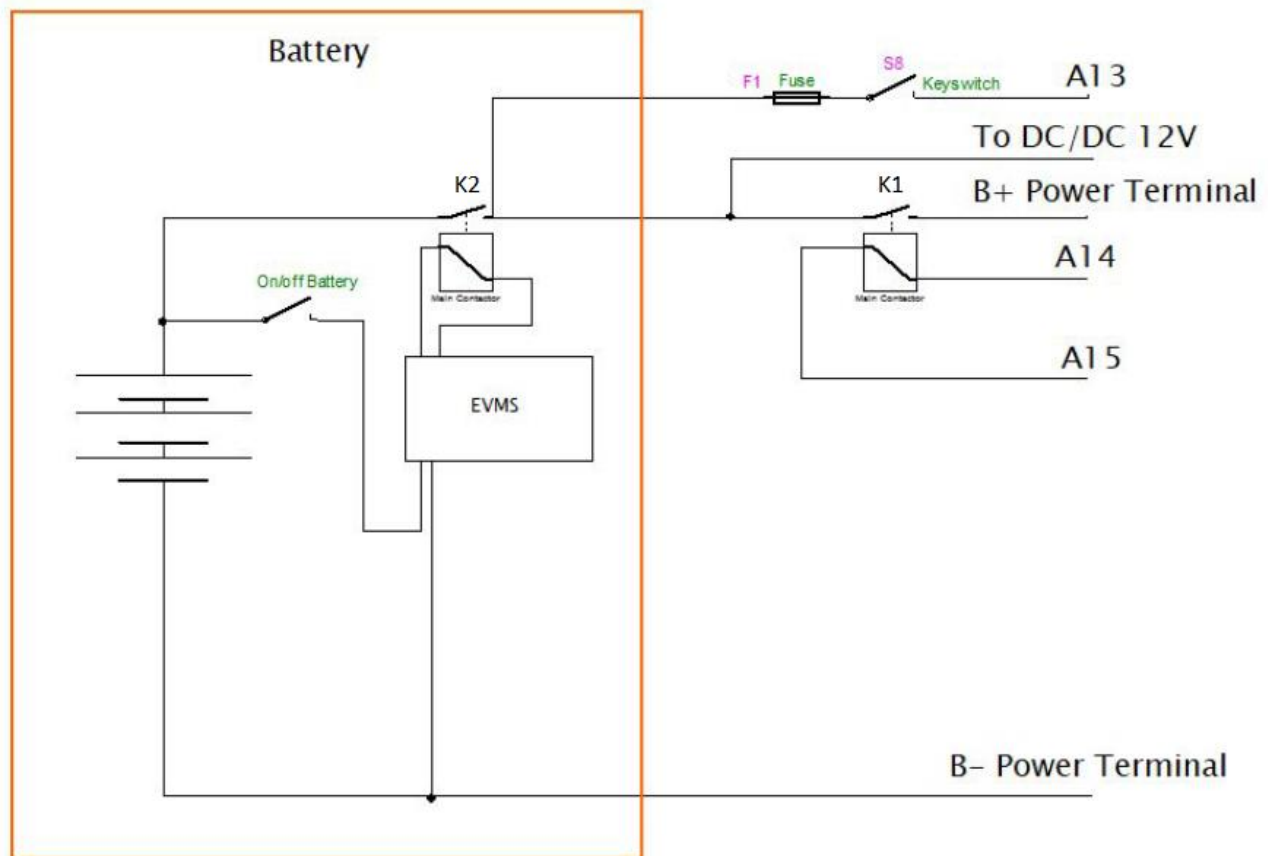
S'ha obtingut una autonomia de 30 minuts per a aquest mode de funcionament, aleshores es verifica el demandat a la llista de requeriments.

El motor ENGIRO seleccionat estarà alimentat aleshores amb una amplitud màxima de 82,8V el que suposa un valor eficaç màxim de tensió monofàsica de 58,54V. Llavors, la corrent que alimentarà el motor en un funcionament a potència màxima s'obté:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_{ef}} = 384,6 A$$

Com el motor pot suportar aquest valor de corrent, s'accepta el dimensionament seleccionat.

Una vegada el voltatge i la intensitat s'han calculat, i s'ha seleccionat la bateria cal dissenyar el sistema elèctric de la bateria comprovant que la llista de requeriments es compleix. Després d'un anàlisi del funcionament del controlador i motor s'ha dissenyat el següent cablejat de potència:



Il·lustració 23 Esquema elèctric de la bateria.



Com es veu a la il·lustració 23 el bloc de la bateria conté diferents elements, dos contactors amb bobina i relé K1 i K2, el EVMS (Enterprise Volume Management System) o també anomenat BMS (Battery Management System) i la font d'energia (mòdul de bateria). Aquest bloc, es connecta en diferents pins i components del nostre sistema. El pin A13 (Clau de contacte), pin A14-15 (bobina amb relé de contacte), B<sup>+</sup> (born positiu del controlador), B<sup>-</sup> (born negatiu del controlador) i a un convertidor DC/DC 12V (per alimentar els elements secundaris del sistema). El procés d'arrancat de la bateria és el següent:

1. Activar l'interruptor On/Off Battery. Llavors, el EVMS i el convertidor DC/DC 12V per a encendre els elements auxiliars estan preparats per a funcionar.
2. Si no n'hi ha cap errada, el EVMS activarà el contactor K2, mentre que el contactor de línia K1 segueix tancat. En aquest moment, el controlador pren el control del sistema.
3. Si es gira la clau de contacte, s'alimenta la bobina amb relé que controla l'obertura i tancament del contactor K1. Aleshores una vegada la clau es girada i el contactor K1 es tanca, el controlador rep l'energia suficient per fer funcionar el sistema elèctric del kart.

L'objectiu d'aquest sistema es tindre un consum zero en repòs, de manera que quan deixem el kart cross sense atenció durant un temps (per exemple tres mesos), sense perill de deterioro del sistema (sols el risc de d'autodescàrrega de les pròpies cel·les).

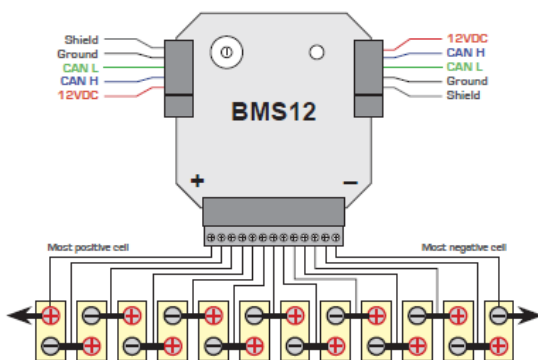
## 6.4 BMS

Els paquets de bateries es solen construir a partir d'un gran nombre de cèl·lules individuals en sèrie per aconseguir tensions més altes. A causa de les toleràncies de fabricació, les cel·les sempre tindran alguna variació en la capacitat, per la qual cosa durant l'ús hi haurà algunes cel·les que estiguin completament carregades o que algunes es descarreguen abans que les altres. En els paquets de bateries compostes de moltes cel·les en sèrie, la tensió general dona poca indicació del voltatge de les cel·les individuals de la cadena, per la qual cosa és important tenir un sistema que controle el voltatge de cada cel·la i que actue en cas de que una cel·la estiga fora de rang d'utilització.

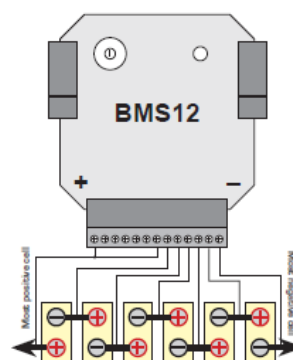
El BMS o també anomenat EVMS que es selecciona per al kart és el BMS 12-Cell Lithium BMS Module V3 de l'empresa australiana ZEVA (Zero Emission Vehicles Australia). Els mòduls BMS12 de ZEVA ofereixen una solució robusta d'automòbil per protegir les bateries de liti dels danys, mantenir l'equilibri del paquet i controlar de forma remota les tensions de les cel·les. Un únic mòdul pot gestionar de 3 a 12 cèl·lules de liti. Les especificacions del BMS són :

- Gestió de cèl·lules: 3-12 cèl·lules de liti per mòdul.
- Voltatge màxim total: 60VDC.
- Compatible amb totes les bateries de liti (LiFePO4, LiCo, LTO, NMC, etc.).
- Gamma de mesurament cel·lular: 0-5000mV.
- Precisió: típicament  $\pm 1\text{mV}$ .
- Rang de temperatura de funcionament:  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $85^{\circ}\text{C}$ .
- Equilibri del paquet: 47  $\Omega$  shunts, Umbral ajustable del saldo.
- Detecció de temperatura: termistors NTC dobles de 100K $\Omega$  (opcional).
- Consum de corrent en repòs de la cel·la: 1,5 mA (inactiu) 2,2 mA (quan es prenen mostres).
- Alimentació CAN: nominal de 12V (rang 8-16V), 20mA.
- Especificació del bus CAN: identificadors de 29 bits de 250 kbps (CAN 2.0 B).
- Dimensions: 67 x 67 x 11 mm (excloent els connectors).
- Massa: 35g.
- No resistent a l'aigua: atenció a l'hora d'enganxar el mòdul a una superfície.

Per a les 552 cel·les de la bateria dissenyada, necessitarem 46 mòduls del BMS12 de ZEVA. En els casos on la connexió es fa amb 12 cel·les, s'han de connectar com al esquema de la il·lustració 24. Mentre que quan són menys de 12 cel·les s'han de connectar diferents pins al mateix positiu, com es pot veure a la il·lustració 25:



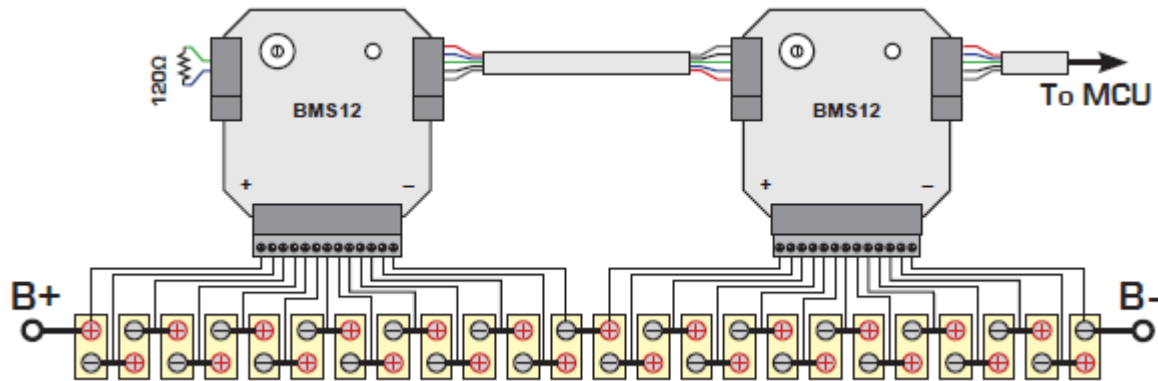
Il·lustració 24 Connexió de 12 cel·les.



Il·lustració 25 Connexió de menys 12 cel·les

Per obtenir un rendiment òptim, el CAN bus s'ha de connectar com una única cadena de dispositius (sense ramificació) i acabar-se als dos extrems del bus amb una resistència de 120  $\Omega$  a través de les línies CAN H i CAN L. Els mòduls i la unitat de control poden estar en qualsevol ordre al bus CAN i la MCU no ha de ser un punt final (podria estar al centre del bus). Normalment és millor que la ruta del bus CAN requereix una longitud de cable més curta. El

diagrama següent mostra una topologia típica per a un exemple de bateria de 24 cel·les, amb 2 BMS:



Il·lustració 26 Connexió entre 24 cel·les.

A cada mòdul BMS se li ha d'assignar un identificador ID únic al bus CAN. Això es fa ajustant el commutador rotatiu de 64 posicions a prop de la part superior esquerra del tauler. Les marques dels commutadors són hexadecimals amb dos dígit, de manera que "0A" significa ID 10, "0B" significa ID 11, etc. El MCU / EVMS s'haurà de programar en conseqüència amb informació sobre els ID dels mòduls i el nombre de cel·les que podeu esperar.

## 6.5 Carregador

S'ha fet un anàlisi de les característiques de la bateria seleccionada (paquet de bateries Samsung) per determinar el mode de recarrega i el tipus de control. Aleshores la bateria haurà de carregar-se seguint les següents dues fases:

1. A intensitat constant:  $I=30A$

A aquesta primera fase, mitjançant la variació del voltatge que s'aplica a la bateria, es manté un flux de corrent constant. Apagant-se una vegada la tensió arriba a un nivell de càrrega completa. El desavantatge és la dificultat per a establir el punt de càrrega completa. Hi existeixen dos mètodes de : normalment s'utilitza una combinació entre els límits d'increment de temperatura, increment de tensió i de temps de càrrega.

2. Tensió constant

A aquesta segona fase, s'alimenta la bateria amb tensió constant per a que la bateria estigui correcta i completament carregada. La corrent en aquesta fase disminueix de manera natural a mesura que el voltatge s'acumula als borns de la bateria i la corrent es talla quan la càrrega està completa. Malgrat això, n'hi ha un problema amb aquest mètode de recàrrega perquè existeix un perill de fer malbé les cèl·lules per sobrecàrrega. Per evitar aquesta limitació, la

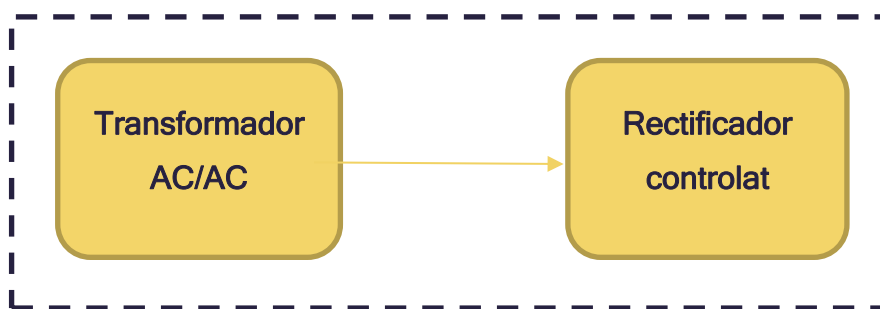
Disseny del sistema elèctric d'un kart cross amb tracció elèctrica

velocitat de càrrega i la seua duració han d'estar limitades i cal estudiar la tolerància que tenen les nostres cèl·lules Samsung a les sobrecàrregues.

Gràcies a combinar aquest dos mètodes podem controlar més fàcilment el punt de càrrega completa i a la vegada allargar la vida útil de la bateria.

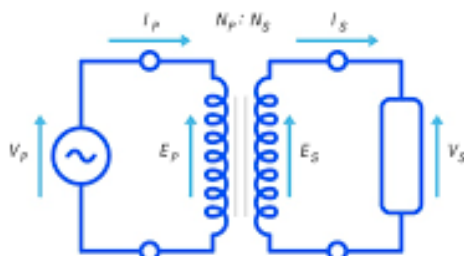
El tipus de control seleccionat és el mètode de recàrrega CC-CV (Constant Current-Constant Voltage) mitjançant un BMS o un control en cascada PI amb llaç intern de corrent i un llaç extern de control de tensió. Així doncs, s'ha programat el BMS de la bateria per a que controle les fases de recàrrega.

Per al disseny del carregador s'utilitzaran dos blocs:



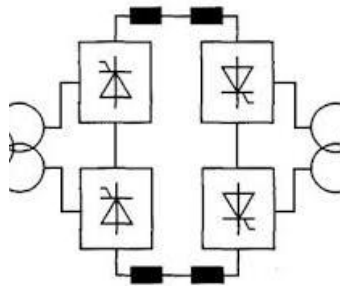
Il·lustració 27 Esquema per blocs del carregador.

El primer bloc, serà un transformador AC/AC el qual té com funció transformar la tensió alterna monofàsica de 230V de la xarxa elèctrica a la tensió adequada per a generar una tensió de sortida adequada per a que es transforme en continua del segon bloc. Per a realitzar aquesta acció s'utilitza un transformador monofàsic, el qual es presenta com a millor opció per a realitzar la funció d'aquest bloc.



Il·lustració 28 Transformador monofàsic.

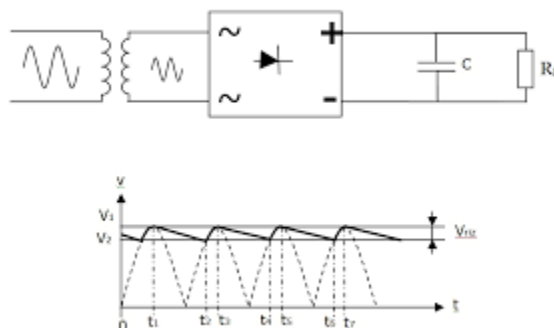
El segon bloc, és un rectificador controlat el qual rectifica la tensió alterna de la xarxa elèctrica en una tensió contínua. Com el carregador és un muntatge unidireccional, s'ha seleccionat un rectificador de tiristors (pont de tiristors). Aquest sistema funciona correctament a freqüències baixes, però presenta alguns harmònics de corrents a l'entrada grans i uns harmònics de tensió a baixa freqüència.



Il·lustració 29 Ponts de tiristors.

Respecte al primer bloc, com la bateria s'ha d'alimentar en continua a una tensió superior però similar a aquesta de la bateria. Ja que la bateria té una tensió nominal de 82,8V, i una tensió de carrega de 96,6V i una corrent de càrrega de 31,2A doncs cal una tensió de pico al transformador de 100V el que suposa una tensió eficaç per al transformador de 70V i una corrent de 30A. Aleshores el transformador AC/AC seleccionat ha de tindre un coeficient de relació  $k = 230/70$ . Respecte al segon bloc, s'haurà d'afegir al sistema diversos microcontroladors per a que aquests puguin controlar l'estat dels tiristors (passant o bloquejat) en els períodes de temps de  $[ 0, T/2 ]$  o  $[ T/2, T ]$ .

Una vegada s'han seleccionat i dimensionat els components, passem al disseny del esquema del sistema final, el qual es pot veure a la següent il·lustració.



Il·lustració 30 Esquema elèctric del carregador.

Com es veu a la il·lustració 30, l'esquema elèctric del carregador conté els dos blocs principals dels quals s'ha parlat (transformador monofàsic AC/AC i pont de tiristors), però a més s'ha afegit un condensador d'elevada capacitat per a aplanar la senyal i obtindrà una senyal quasi contínua per a carregar la bateria correctament.

## 6.6 Accelerador i fre

El pedal de l'accelerador seleccionat és el "Electric Accelerator Pedal Ass'y ( MTF3 )" de l'empresa COMESYST (Control & Measurement Systems Limited ). Un pedal que conté un microcontrolador a l'interior per a comunicar-se amb el controlador i altres components del kart. A l'annex es troba la datasheet del pedal, on es detallen les seues dimensions i parts.

En el cas del fre, s'han seleccionat dos frens per al kart. Un fre hidràulic, el qual ja incorporava el kart en el seu disseny inicial, amb pedal i transmissió ja dissenyades. Però també se li ha incorporat un fre elèctric, el qual s'acciona mitjançant un botó al volant i aleshores connecta al motor en mode generador i frena el vehicle.

## 6.7 Elements auxiliars

Els elements auxiliars seleccionats es troben en tres blocs diferents : panel d'instruments, caixa de connexions i sistemes de refrigeració que s'expliquen a continuació:

### 6.7.1 Panel d'instruments

El panel d'instruments és el conjunt de botons i palanques que el pilot acciona mentre condueix per conduir i ordenar al controlador el que vol fer en cada moment:

- Palanca de selecció de marxa avant/arrere: per a seleccionar el sentit de la marxa.
- Clau de contacte: contactor amb el qual s'inicia l'arrencament del motor
- Seta 1: botó de seguretat dins de la cabina del pilot que si s'acciona para el funcionament de tot el sistema.
- Seta 2: boto de seguretat situat a l'exterior que si s'acciona para el funcionament de tot el sistema.
- Pantalla: situada al panel d'instrument serveix per indicar la velocitat, nivell de bateria, temperatura de cada component i altres senyals de seguretat.
- Interruptor ventilador: botó per a activar el ventilador del sistema de refrigeració.

### 6.7.2 Caixa de connexions

És tracta d'una caixa on es concentren tots els cables que hi intervenen en les comunicacions i estableix les connexions entre Controlador-Bateria-Motor-Elements Auxiliars. Dins d'aquesta trobem:

- Connector calibrador
- Convertidor DC/DC a 12V: per transformar la tensió d'eixida de la bateria a 12V per alimentar elements com els pedals o sistemes de refrigeració.

- Fusibles varis: un de 10A connectat amb la clau de contacte.
- Diferents cables grossos: que contenen els cables de connexió entre els diferents elements principals del kart: bateria-controlador, controlador-panel d'instruccions i bateria-elements auxiliars.

### 6.7.3 *Circuit de refrigeració*

Els circuits de refrigeració del motor i controlador, estan compostats d'una bomba que refrigera contínuament el motor amb líquid en moviment (convecció) i després el controlador es refrigera segons els valors rebuts per un termòstat situat damunt que segons la temperatura del mateix activa un ventilador i per convecció regula la temperatura del controlador. Altrament, s'ha dissenyat un botó al quadre de comandaments per a si el pilot veu necessari activar el sistema de refrigeració sense necessitat d'arribar a la temperatura definida.

D'altra banda, per a la refrigeració de la bateria, s'ha dissenyat un sistema de refrigeració per aire amb l'objectiu de que aquest mantingui la bateria a temperatura ambient quan el vehicle estigui en funcionament.

## 7. DIMENSIONAMENT DEL CABLEJAT

A aquest apartat es van a dimensionar les línies que componen el sistema elèctric del kart. Es calcularan les línies de connexió entre els blocs de potència: bateria-controlador, i controlador-motor. Tanmateix, es dimensionarà la secció de les línies de baixa potència.


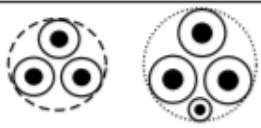
### Cablejat de potència

Aquestes línies corresponen als trams presents en la taula següent on s'afegeix també el voltatge i la intensitat que circula per cada un d'aquests calculada a l'apartat anterior:

TRAM	NOM	VOLTATGE (V)	INTENSITAT (A)
Inversor-motor	L1	58,54	187,4
Bateria-inversor	L2	82,8	240

Taula 4 Trams de cablejat de potència.

Per obtenir les seccions de cable s'han calculat prenent com a referència el REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión), aquesta normativa regula la instal·lació elèctrica de baixa tensió en edificis públics, privats i locals comercials. Aquesta norma no regula el disseny del cablejat en vehicles, però al ser més restrictiva la podem utilitzar per calcular les seccions i realitzar una instal·lació correcta.

Sección nominal mm <sup>2</sup>	Tres cables unipolares (1)			1 cable trifasico		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	46	45	38	44	43	36
10	64	62	53	61	60	50
16	86	83	71	82	80	65
25	120	115	96	110	105	87
35	145	140	115	135	130	105
50	180	175	145	165	160	130
70	230	225	185	210	220	165
95	285	280	235	260	250	205
120	335	325	275	300	290	240
150	385	375	315	350	335	275
185	450	440	365	400	385	315
240	535	515	435	475	460	370
300	615	595	500	545	520	425
400	720	700	585	645	610	495
500	825	800	665	-	-	-
630	950	915	765	-	-	-

Taula 5 Secció d'un cable segons la intensitat màxima admissible.



Per a poder suportar la intensitat en cada tram i considerant que aquestes línies són unipolars, a la L1 caldrà un cable  $70\text{mm}^2$  si es selecciona el tipus d'aïllament XLPE o EPR i de  $95\text{mm}^2$  si es selecciona el tipus PVC. Mentre que per a el cas de la L2, caldrà una secció de cablejat de  $95\text{mm}^2$  si es selecciona el tipus d'aïllament XLPE o EPR i de  $\text{mm}^2$  si es selecciona el tipus PVC.

Es selecciona els cables de tipus EPR, doncs les seccions de cable seran de  $70\text{mm}^2$  per a la L1 i de  $95\text{mm}^2$  per a la L2.

### **Cablejat de baixa potència**

Per a cada tram de cablejat s'ha pres una mesura estàndard de  $1,5\text{mm}^2$  per a suportar el corrent d'aquestes línies de baixa potència.

## 8. ESTUDI I PROGRAMACIÓ DEL CONTROLADOR SELECCIONAT

Aquesta part del TFG està destinada a l'estudi i programació del controlador DMC SuperSigma2 AN 190129 - IPM motor control. Primerament, es descriu el control de motor IPM junt a les característiques o nomenclatures que es poden trobar al manual. Alhora de fer l'anàlisi del manual, sols s'estudiarà la part del manual destinada a la tracció del motor.

### 8.1 Sobre el manual

Abans de començar amb l'anàlisi profund del manual cal explicar diferents trets i característiques del mateix.

#### 8.1.1 Nomenclatura

Els ajusts (per exemple paràmetres) estan etiquetats seguint el format següent :

Mxx-yy AAAAAAAAAAAAA, "BBBBBBBBBB"

On :

- xx indica el numero del menú.
- yy assenjala la posició del paràmetre en el menú.
- AAAAAAAAAAAAA descriu el paràmetre a modificar o consultar.
- BBBBBBBBBBBBBB mostra el text que apareixeria a la pantalla del calibrador DMC.

Exemple :

M1-5T Maximum speed forward "SpdMaxF"

- 1 indica el numero del menú (en aquest cas menú 1 Configuració d'ajust);
- 5 assenjala dins del menú 1 la posició del paràmetre a ajustar.
- "Maximum speed forward" descriu el paràmetre a modificar.
- "SpdMaxF" seria el text que mostraria la pantalla del calibrador.

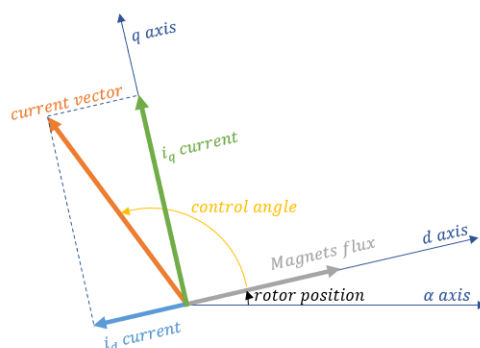
#### 8.1.2 Control IPM

Com bé s'ha seleccionat, el tipus de control fet pel SuperSigma2 és un control de tipus vectorial. El mètode control vectorial adaptat a motors IPM, el qual estableix les dos components del vector de corrent ( $I_d$  i  $I_q$ ) en funció del par exigít i velocitat real del motor. Tanmateix, la corrent màxima que flueix pel motor pot limitar-se en la zona de shuntat del camp per a mantenir el voltatge requerit compatible amb el màxim donat pel controlador i la bateria.

Per a cada punt de treball (definit per la parella velocitat-par) existeix una repartició òptima de la corrent  $I_D$  i  $I_Q$ , permetent controlar el motor amb la major eficiència. Així mateix, existeixen dos mètodes per a controlar els motors IPM :

- **“Angle control”** (control d'angle) : aquest mètode és molt fàcil de posar en funcionament, però sols assegura una màxima eficiència per a la corba del límit de par motor. Per contra, els punts de funcionament en demanda parcial de par, tenen una pitjor eficiència.

Aquest mètode s'encarrega de controlar la fase (angle) entre el vector de la corrent i el flux dels imants permanents, és a dir la posició del rotor.



Il·lustració 31 Control d'angle

A la imatge superior es pot veure que la corrent  $I_Q$  és la projecció del vector corrent a l'eix  $Q$  i la corrent  $I_D$  és la projecció del vector corrent a l'eix  $D$ .

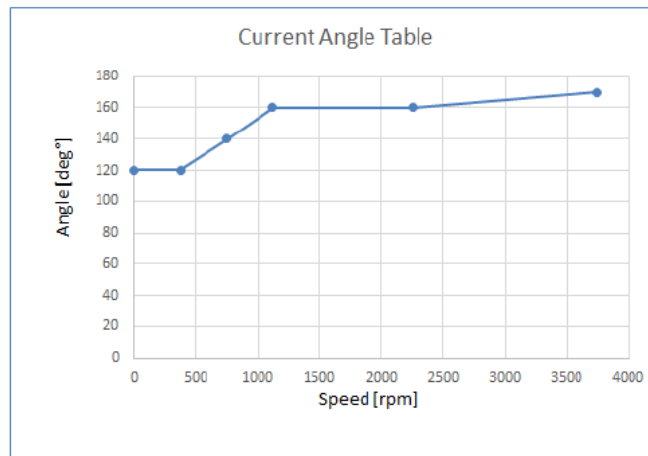
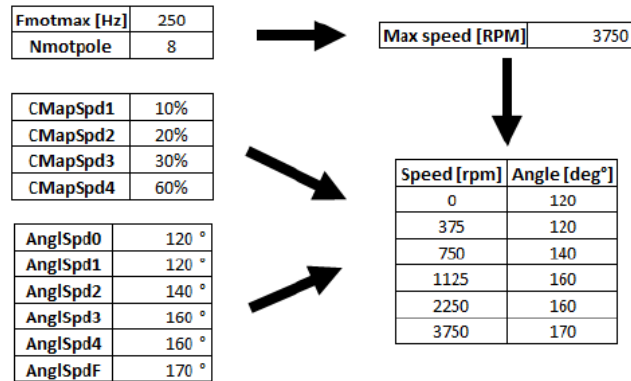
El “control angle” i l'amplitud del “corrent vector” (vector corrent ) aplicats depenen de la velocitat desitjada. Aleshores es possible fer una taula d'angles i amplitud dependent de la velocitat.

La taula per a controlar l'angle està basada en 7 punts, des de la velocitat 0 fins a la màxima del motor. Els punts entremitjos s'expressen com a percentatge de la velocitat màxima i poden ajustar-se al menú 5 “Motor Setup” (paràmetres M5-10 a M5-13)

La velocitat màxima es defineix al paràmetre “M4-13 Maximum Motor Frequency “Fmotmax”” i pel nombre de parells de pols, els quals es configuren al Menu 4 “IPM Motor Auto Tuning”. La següent fórmula representa la relació entre la freqüència del rotor i la velocitat angular del motor en rpm.

$$\text{Maximum Speed [RPM]} = 120 * \frac{F_{motmax}[\text{Hz}]}{\text{Number of poles}}$$

Els paràmetres que defineixen l'angle del vector corrent per a cada velocitat es configuren al Menu 5 "Motor Setup" (paràmetres del M5-102 al M5-107, "AnglSpd0-F"). Un exemple de la taula d'ajust d'angle seria el següent :



Il·lustració 32 Taula d'ajust d'angle.

- **"Table control"** (control de taula), aquest necessita un equip especial (un dinamòmetre) per a ser configurat correctament. Aquest mètode garanteix l'obtenció de la millor eficiència per a cada punt de treball. De fet es basa en dos taules que cobreixen el complet en funció de la velocitat i par exigít. El controlador DMC SuperSigma2 proporciona la possibilitat d'establir mapes de corrent ID y IQ.

Les diferents taules d'ajusts es troben al "Menu 5 "Motor Setup"" par als diferents punts a les taules. A continuació, es veuen dues taules que mostren la correspondència entre els ajusts.

		Torque in %						
		0%	CMapTrq1	CMapTrq2	CMapTrq3	CMapTrq4	100%	
Speed in %	0%	IDMp0S0T	IDMp0S1T	IDMp0S2T	IDMp0S3T	IDMp0S4T	IDMp0SFT	
	CMapSpd1	IDMp1S0T	IDMp1S1T	IDMp1S2T	IDMp1S3T	IDMp1S4T	IDMp1SFT	
	CMapSpd2	IDMp2S0T	IDMp2S1T	IDMp2S2T	IDMp2S3T	IDMp2S4T	IDMp2SFT	
	CMapSpd3	IDMp3S0T	IDMp3S1T	IDMp3S2T	IDMp3S3T	IDMp3S4T	IDMp3SFT	
	CMapSpd4	IDMp4S0T	IDMp4S1T	IDMp4S2T	IDMp4S3T	IDMp4S4T	IDMp4SFT	
Fmotmax	100%	IDMpFS0T	IDMpFS1T	IDMpFS2T	IDMpFS3T	IDMpFS4T	IDMpFSFT	

Il·lustració 33 Taula corrent ID.

		Torque in %						
		0%	CMapTrq1	CMapTrq2	CMapTrq3	CMapTrq4	100%	
Speed in %	0%	IQMp0S0T	IQMp0S1T	IQMp0S2T	IQMp0S3T	IQMp0S4T	IQMp0SFT	
	CMapSpd1	IQMp1S0T	IQMp1S1T	IQMp1S2T	IQMp1S3T	IQMp1S4T	IQMp1SFT	
	CMapSpd2	IQMp2S0T	IQMp2S1T	IQMp2S2T	IQMp2S3T	IQMp2S4T	IQMp2SFT	
	CMapSpd3	IQMp3S0T	IQMp3S1T	IQMp3S2T	IQMp3S3T	IQMp3S4T	IQMp3SFT	
	CMapSpd4	IQMp4S0T	IQMp4S1T	IQMp4S2T	IQMp4S3T	IQMp4S4T	IQMp4SFT	
Fmotmax	100%	IQMpFS0T	IQMpFS1T	IQMpFS2T	IQMpFS3T	IQMpFS4T	IQMpFSFT	

Il·lustració 34 Taula corrent IQ.

A partir del SW02.08.05b9 (autotuning) es possible l'autoajust tant del control d'angle com del control de taula sense necessitat de més equips.

L'ajust "M6-9 Angle/Idq Table Control" en el "Menú Avançat" permet elegir entre el "Control d'angle" (quan s'ajusta a 0) i el "Control de IDQTable" (quan s'ajusta a 1). Per al sistema de control del kart, s'ha seleccionat el mètode de control de taula. Aleshores s'ha ajustat el valor del paràmetre "M6-9 Angle/Idq Table Control" a 1.

## 8.2 Configuració inicial del controlador

Primer, cal conèixer que els paràmetres del controlador SuperSigma2 estan distribuïts en 9 menús, on podem veure la definició de cada paràmetre i les seues possible configuracions. La selecció de configuració del diferents paràmetres es realitza segons l'elecció del motor i funcionament del controlador desitjats.

Per a una clara configuració i sintonització del controlador, cal seguir el següent procediment :

1. Entrar al menú 3 (configuració del controlador) i ajustar els paràmetres bàsics d'acord amb el cablejat elèctric realitzat. En aquest pas, s'ha d'activar o desactivar les entrades i eixides del controlador que anem a utilitzar.
2. Anar al menú 8 (BDI indicador de descàrrega de la bateria) i configurar els paràmetres per al càlcul de la BDI.
3. Passar al menú 4 (IPM Auto ajust del motor) i introduir els paràmetres principals del motor, necessaris per al funcionament del autotuning. És molt important tindre amb compte que els paràmetres "M4-9 Maximum RMS motor current "Imotmax"" i "M4-13 Maximum Motor Frequency" son essencials i defineixen la corrent màxima que entrarà

al motor (el que ve a ser el par) i la velocitat màxima del rotor, de la qual es basaran tots els límits de velocitat i les rampes.

4. Marcar el menú 7 (Limits setup) i configurar els límits desitjats.
5. Realitzar el autotuning.
6. En el cas de que el controlador haja d'operar amb un CAN, entrar al menú 9 (Can bus Setup) i configurar els paràmetres de configuració CAN.
7. Entrar al menú 1 (Configuració) i configurar tots els ajusts necessaris. S'ha de tindre en compte que els paràmetres a modificar cal modificar-los quan s'hagen acomplit els passos anteriors. Perquè sols es disposen de diversos ajusts quan es realitza alguna combinació de paràmetres a altres menús.
8. Si fora necessari es poden modificar altres paràmetres al menú 5 (configuració del motor) i el menú 6 (IPM motor Advanced).

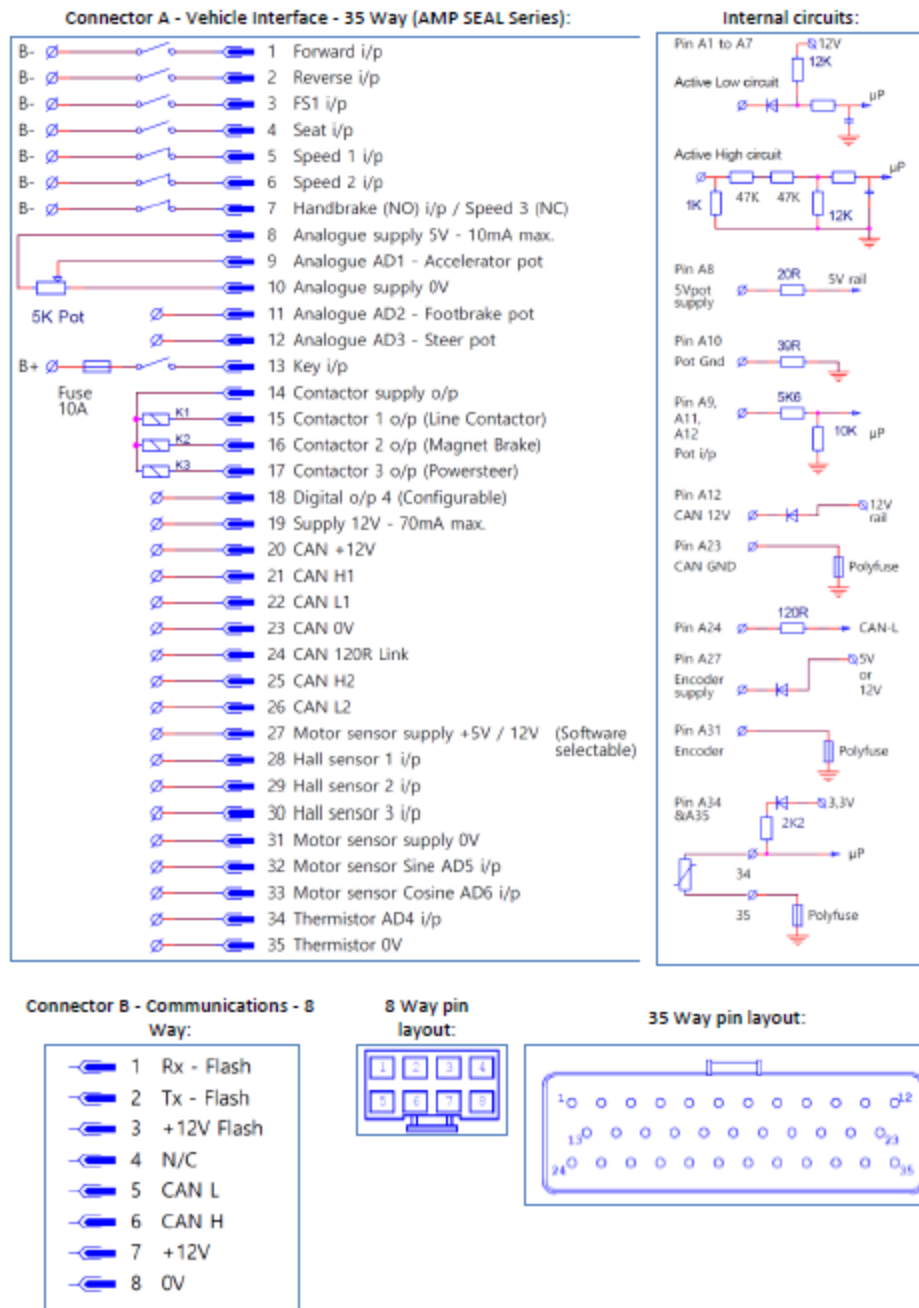
### 8.3 Connexions de control

En aquesta secció, s'explicaran les diferents funcions i característiques de cada pin del connector Ampseal 35. Aquest connector té com funció, connectar el vehicle, el CAN de comunicació i les senyals de retroalimentació del motor. Hi ha diferents tipus de senyal associades als diferents pins del connector, com són : entrades digitals, entrades analògiques, entrades de comunicació i sortides digitals.

Les característiques associades a les senyals del connector són diferents, segons el software d'aplicació (tracció o control de bomba), en el nostre cas tracció. A més, la funció específica de cada pin, estarà relacionada amb el software d'aplicació.

Els pins 1-7 són entrades digitals. Les entrades esdevenen actives quan es connecten a terra o al born negatiu de la bateria B-, perquè l'opció activa baix és seleccionat. Després els altres són entrades analògiques, entrades de comunicació o sortides digitals i estan configurades en activa baix.

Com podem veure en la següent esquema elèctric (il·lustració 35), podem veure els 35 pins i les connexions corresponents de cada una amb el vehicle, els seus circuits interns i les comunicacions.



Il·lustració 35 Connectors A/B I els diferents pins E/S

Pin 1. **Forward (marxa avant)** : Activant aquesta entrada conjuntament amb l'entrada analògica de l'accelerador i l'interruptor de peu FSI, (si està seleccionat al vehicle "ride on", o apretant el pin 3 Pedal de peu i "M3-8T tipus de vehicle seleccionat "Ride / Wik" ). Es demana un senyal de marxa avant al controlador.

Pin 2. **Reverse (marxa enrere)** : Activant aquesta entrada conjuntament amb l'entrada analògica de l'accelerador (si està seleccionat al vehicle "ride on", apretant el pin 3 Pedal de peu i "M3-8T tipus de vehicle seleccionat "Ride / Wik" ). Es demana un senyal de marxa arrere al controlador.



En el cas que el pin 1 i el pin 2 estiguin activats a la mateix hora, el controlador ens assenyalarà ERROR amb un retard d'un segon. En el cas de que l'accelerador també hi estigui connectat, el vehicle es mourà durant un segon.

Pin 3. **FSI (Foot Switch Interruptor)** : senyal de seguretat, la qual es selecciona per mitjà del paràmetre "M3-8T tipus de vehicle seleccionat "Ride / Wik". Està configurat a Ride (0), aleshores el commutador de peu del vehicle està connectat a aquest passador i s'activa per permetre la conducció.

Pin 4. **Seat** : Aquesta senyal de seguretat indica que el pilot està assegut. Aquest pot ser un contactor al seient o un altre tipus d'interruptor, el qual sempre que es vulgui permetre la conducció del vehicle. En el cas de que aquest interruptor estigui obert, el vehicle es detindrà. Aquest pin es troba connectat a massa (0), aleshores sempre està connectat.

Pin 5. **Speed 1** : Aquest pin limita la velocitat marxa avant del vehicle. Aleshores com el que s'està dissenyant és un kart, el qual no volem fixar-li una velocitat màxima, configurarem aquest pin a zero. Per a fer-ho, s'ha configurat el paràmetre "M3-5T I/O Pin 5 and 6 "Sp/In/Ad". Valor del qual s'ha configurat a zero

Pin 6. **Speed 2** : Aquest pin limita la velocitat marxa arrere del vehicle. Aleshores com el que s'està dissenyant és un kart, el qual no es vol fixar-li una velocitat màxima, es configurarà aquest pin a zero.

Pin 7. **Handbrake** : aquesta entrada s'utilitza en un principi per al contactor del fre de mà. La seua funció est pot configurar amb el paràmetre "M3-6T I/O Pin 7 "Spd3/Hbk"". En el cas de configurar-lo a 0 (Spd3(0)), aquesta entrada servirà per limitar la velocitat del vehicle amb el paràmetre "M1-44T Cutback speed 3 (I/O 7 set to speed3) "Speed3"". Com nosaltres si que tenim fre de mà, es configurarà l'entrada a 1 (Hbk(1)), aleshores aquesta entrada l'hem connectat al contactor del fre de mà.

Pin 8. **Analogue Supply 5V - 10A max** : alimentació de 5V/10A del potenciòmetre de l'accelerador.

Pin 9. **Analogue AD1 - Accelerator pot** : entrada analògica de l'accelerador que accepta un potenciòmetre de 5k $\Omega$  de 3 cables amb un rang de tensió de 0 a 5V. El rang actiu s'ha de definir mitjançant el paràmetres : "M1-52T Accelerator pot minimum "AccMin"" i "M1-53T Accelerator pot maximum "AccMax"". Després, dos tipus d'accelerador poden ser seleccionats amb el paràmetre "M3-12T Accelerator type "AccelTyp"". En el nostre cas, es seleccionarà el tipus NORMAL, aleshores la configuració del paràmetre "M3-12T Accelerator type "AccelTyp"" és a 0.



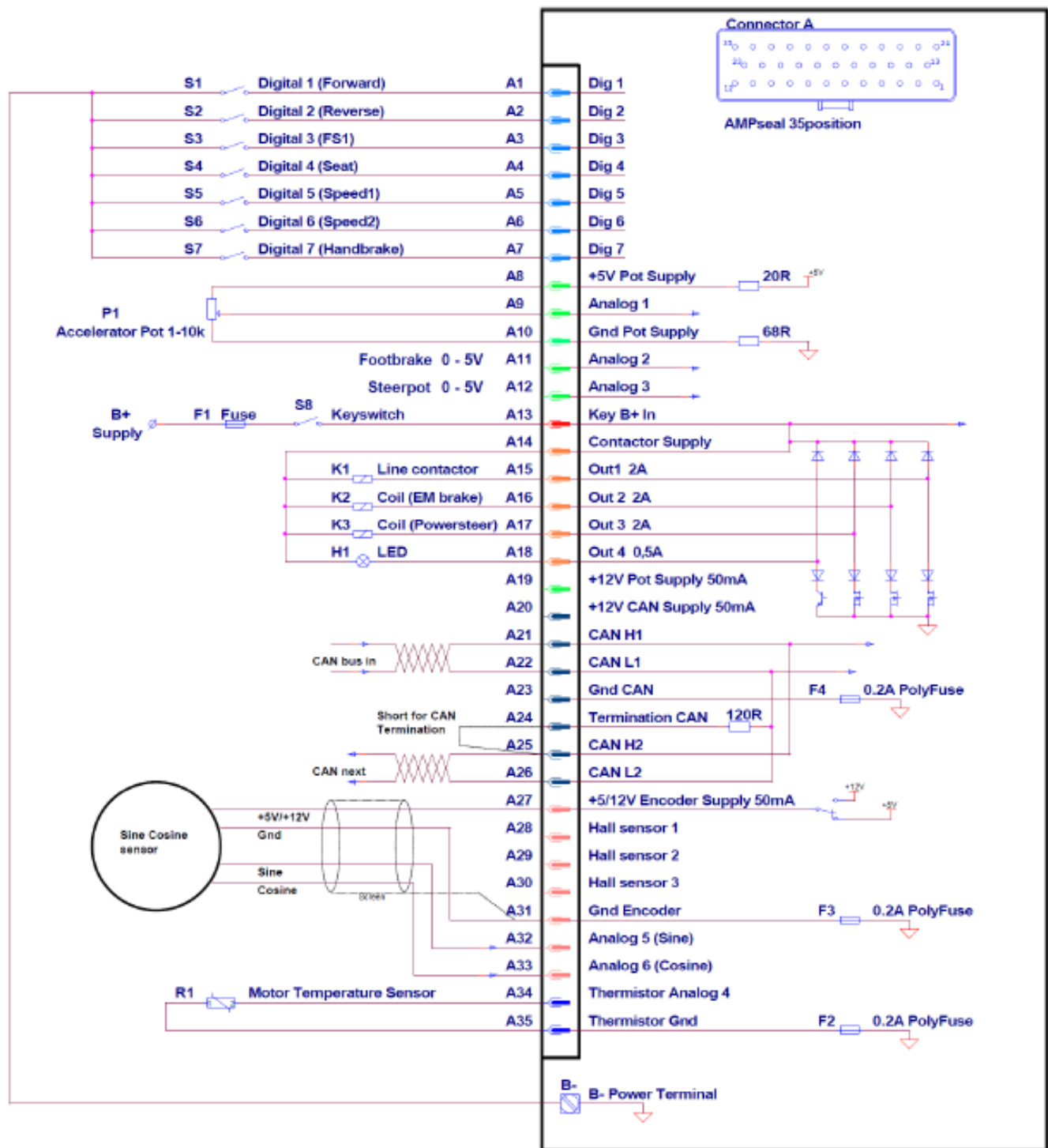
- Pin 10. **Analogue supply 0V - Ground** : connexió a terra del accelerador.
- Pin 11. **Analogue AD2 - footbrake pot** : entrada analògica del fre que accepta un potenciòmetre de 5k $\Omega$  de 3 cables amb un rang de tensió de 0 a 5V. Aquest rang ve definit per els paràmetres “M1-54T Brake pot minimum “BrkMin”” (0%) i “M1-55T Brake pot maximum “BrkMax”” (100%). El contactor del fre s'utilitza amb el del pedal de fre, en vegada d'utilitzar un aparell extern. L'interruptor ha de connectar l'entrada al voltatge corresponent amb el del valor del paràmetre “M1-55T Brake pot maximum “BrkMax”” (100%) per poder frenar correctament.
- Pin 12. **Analogue AD3 - steer pot** : aquesta entrada s'encarrega de controlar la direcció assistida. Per activar-la cal configurar el paràmetre “M3-14T Single or Dual Motor “Si/DL/DR””. Però, en el nostre cas, no s'utilitza aquest pin aleshores es configura a 1.
- Pin 13. **Key** : contactor de la clau de contacte el qual s'ha de connectar d'un costat al contacte de la clau i l'altre a l'alimentació positiva de la bateria.
- Pin 14. **Contactor supply** : l'eixida és l'alimentació positiva dels contactors del vehicle (contactor de línia, fre electromecànic, la direcció assistida).
- Pin 15. **Contactor 1** : contactor K1, o contactor de línia cal connectar-lo a la part negativa de la bobina del relé. El controlador s'encarrega del funcionament d'aquest pin.
- Pin 16. **Contactor 2** : contactor K2, el qual no utilitzarem.
- Pin 17. **Contactor 3** : contactor K3, el qual no utilitzarem.
- Pin 18. **LED** : senyal de seguretat LED, la qual ens indica si el vehicle està OK per a conduir.
- Pin 19. - Pin 26. **CAN** : connexions del CAN bus.
- Pin 27. **Encoder supply 5V/12V & 50mA** : alimentació de l'encoder Sinus Cosinus de 5V/12V & 50mA.
- Pin 28. **Hall sensor 1** : sensor efecte hall 1, tecnologia del qual es selecciona mitjançant el paràmetre “M4-2 Sensor technology “SensType”” (ajustar a 1 perquè no s'utilitza).
- Pin 29. **Hall sensor 2** : sensor efecte hall 2 , tecnologia del qual es selecciona mitjançant el paràmetre “M4-2 Sensor technology “SensType”” (ajustar a 1 perquè no s'utilitza).
- Pin 30. **Hall sensor 3** : sensor efecte hall 3, tecnologia del qual es selecciona mitjançant el paràmetre “M4-2 Sensor technology “SensType”” (ajustar a 1 perquè no s'utilitza).
- Pin 31. **Ground encoder** : connexió a terra de l'encoder.
- Pin 32. **Analog sine** : connexió amb la sortida sine de l'encoder Sinus cosinus. Per a seleccionar la tecnologia d'aquest sensor, es configura el paràmetre “M4-2 Sensor technology “SensType”” (ajustar a 0).

Pin 33. **Analog cosine** : connexió amb la sortida cosine de l'encoder Sinus cosinus. Per a seleccionar la tecnologia d'aquest sensor, es configura el paràmetre "M4-2 Sensor technology "SensType"" (ajustar a 0).

Pin 34. **Thermistor motor** : termistor que actua com a sensor de temperatura del motor. Aquest pin s'ha de connectar al ànode del termistor KTY84-130 o a un costat d'una sonda tèrmica Pt 1000 ohm 0°C. Per a seleccionar el tipus de sensor, configurem el paràmetre "M7-1 Motor Temp Sensor Type "MtempTyp"".

Pin 35. **Ground thermistor** : connexió a terra del termistor. Aquest pin s'ha de connectar al càtode del termistor KTY84-130 (part negra a ralles) o a un costat d'una sonda tèrmica Pt 1000 ohm 0°C. Per a seleccionar el tipus de sensor, configurem el paràmetre "M7-1 Motor Temp Sensor Type "MtempTyp"".

Una vegada explicada la funció de cada PIN, a la datasheet trobem un exemple de cablejat per a tracció dels pins del controlador en el qual es poden veure les connexions entre pins i els diferents components passius i actius que hi participen.



Il·lustració 36 Exemple de cablejat per a tracció.

El cablejat del controlador es realitzarà com a l'exemple proposat a la datasheet del mateix. De manera que tots els pins i elements externs es comuniquen de forma correcta.

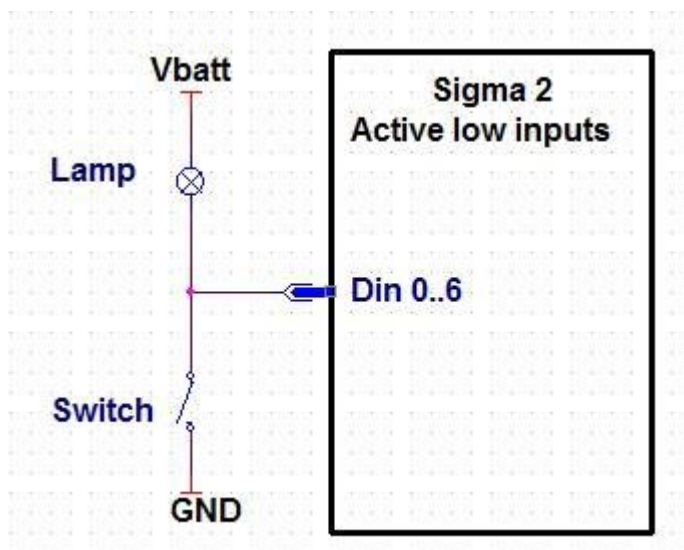
## 8.4 Selecció d'entrades digitals activa baixa o alta.

El controlador DMC SuperSigma2 té la capacitat de configurar totes les entrades digitals com a activa baixa o com activa alta. Aquesta configuració es pot fer al menú de configuració del controlador (menú 1). En la fase de disseny i programació del controlador s'han seleccionat totes com a activa baixa, tanmateix s'explicaran els dos tipus d'entrades per a tindre coneixement dels dos tipus.

### 8.4.1 Entrades digitals activa baixa

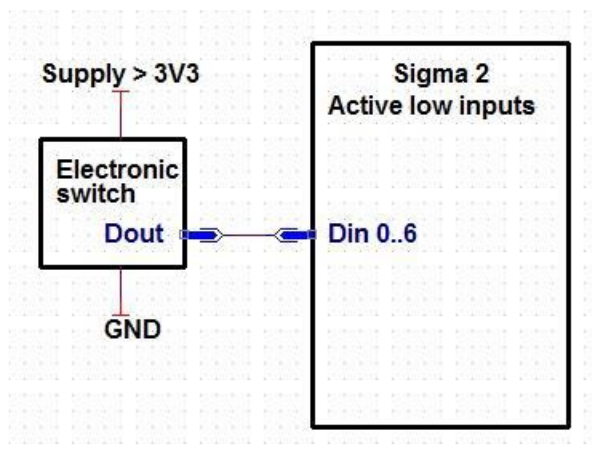
Per a utilitzar les entrades activa baixa del controlador DMC SuperSigma2 cal configurar el tipus d'entrada a activa baixa mitjançant el paràmetre "M3-16T Active low or high digital inputs "ActvL/H"" ajustant-lo a 0.

8.4.1.1 Utilitzant un commutador mecànic : el qual es connecta entre la massa o la branca negativa de la bateria B<sup>-</sup> i una de les entrades digitals. Per assenyalar el canvi d'estat del commutador, una llum pot ser connectada entre l'entrada digital i la branca B<sup>+</sup> o Vbatt de la bateria.



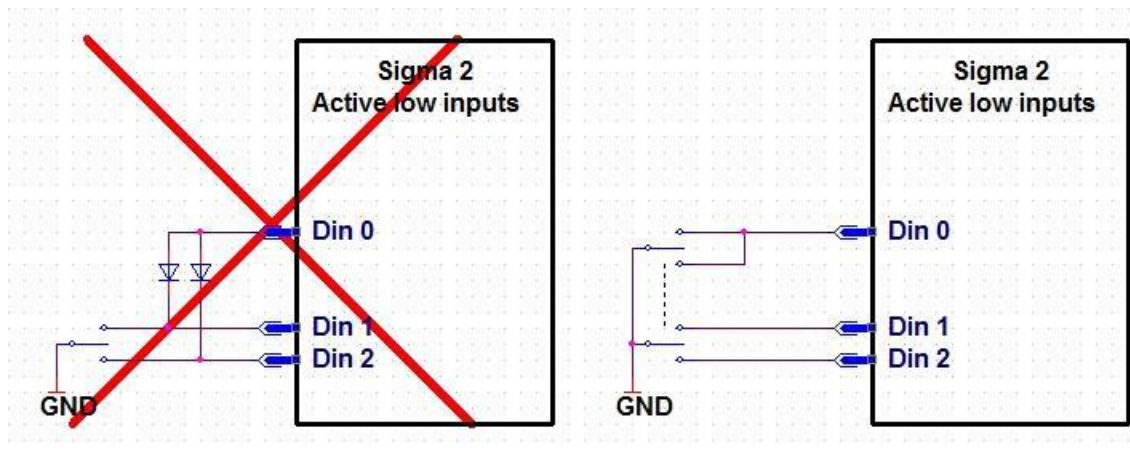
Il·lustració 37 Commutador mecànic activa baixa

8.4.1.2 Utilitzant un commutador electrònic : el qual cal connectar-lo a una alimentació superior a 3V3. L'eixida digital d'aquest es alta quan no esta activat, aleshores això suposa una eixida superior a 1,5V. Per contra, quan el commutador està activat, l'eixida s'esdevé nul·la, és a dir, un voltatge d'eixida inferior o igual a 0,3V.



Il·lustració 38 Commutador electrònic actiu baix.

8.4.1.3 Utilitzant un commutador de doble llançament: en alguns casos l'entrada depèn d'una altra entrada, com per exemple en el cas del FS1 (pin 3→Din 0) i la marxa avant (pin 1→Din1) i marxa arrere (pin 2→Din1). En alguns controladors, es possible activar l'entrada comú (Din 0) utilitzant díodes connectats a altres entrades, però en el nostre cas no. Per això, cal utilitzar el commutador de doble llançament com esquematitzat a la figura següent.



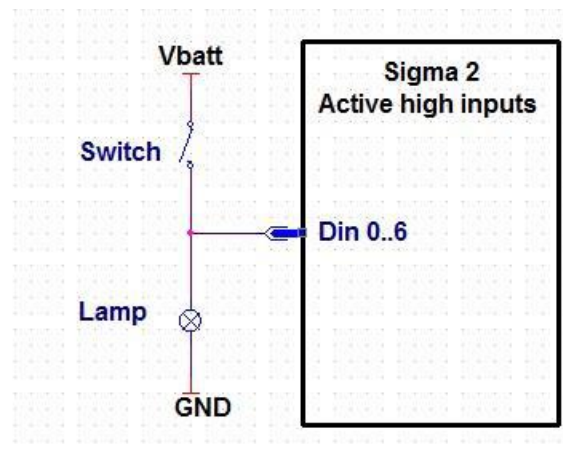
Il·lustració 39 Commutador de doble llançament i de díodes.

Per al disseny del kart s'han seleccionat commutadors mecànics actiu baix per a la configuració de les entrades del controlador.

### 8.4.2 Entrades digitals activa alta

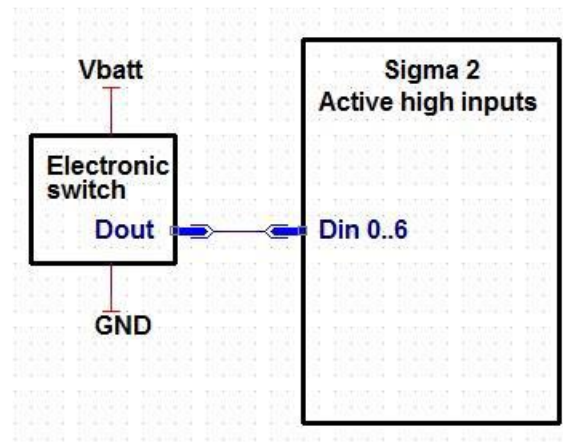
Per a utilitzar les entrades activa alta del controlador DMC SuperSigma2 cal configurar el tipus d'entrada a activa alta mitjançant el paràmetre "M3-16T Active low or high digital inputs "ActvL/H"" ajustant-lo a 1.

8.4.2.1 Utilitzant un commutador mecànic : el qual es connecta entre la branca positiva de la bateria B<sup>+</sup> i una de les entrades digitals. Per assenyalar el canvi d'estat del commutador, una llum pot ser connectada entre l'entrada digital i la branca B<sup>-</sup> o la massa.



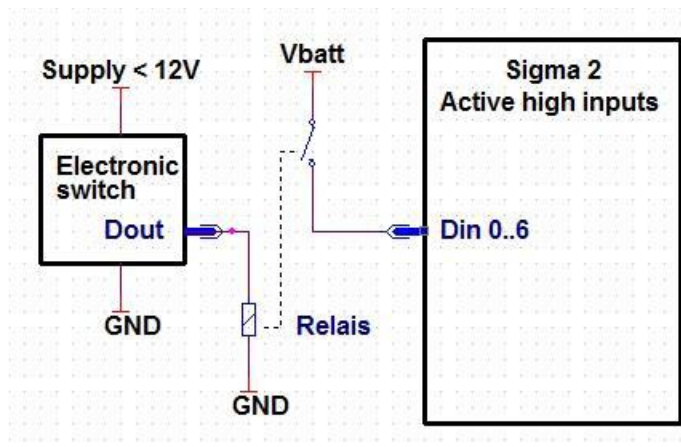
Il·lustració 40 Communtador mecànic activa alta.

8.4.2.2 Utilitzant un commutador electrònic alimentat a més de 12V: aquest s'ha de connectar a una alimentació de més de 12V (V<sub>batt</sub>). L'eixida digital pot connectar-se directament a l'entrada activa alta del SuperSigma2.



Il·lustració 41 Communtador electrònic alimentat a més de 12V.

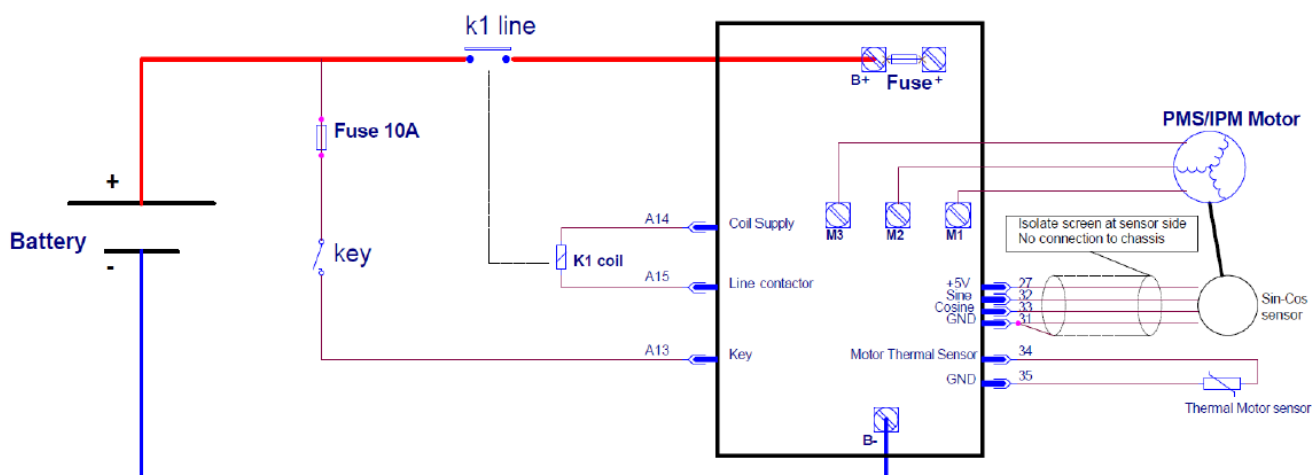
8.4.2.3 Utilitzant un commutador electrònic alimentat a menys de 12V: aquest s'ha de connectar a una alimentació de menys de 12V (V<sub>batt</sub>). L'eixida digital ha de controlar un relé, el qual connecta el voltatge B<sup>+</sup> o V<sub>batt</sub> a l'entrada activa alta del SuperSigma2.



Il·lustració 42 Communtador electrònic alimentat a menys de 12V.

### 8.5 Cablejat de potència.

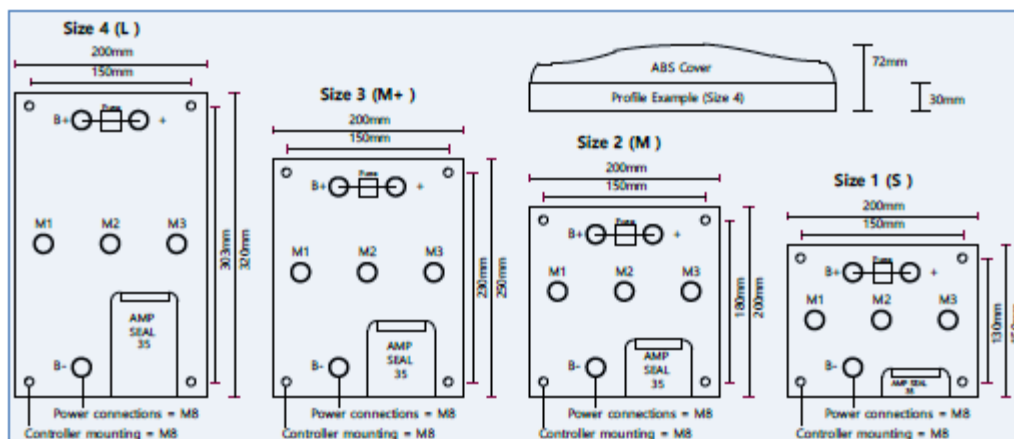
En aquesta part es proposa un model de cablejat de potència el qual uneix els tres elements principals del kart : bateria, controlador i motor. Aquest model ja s'ha explicat a la part de selecció i dimensionament de components.



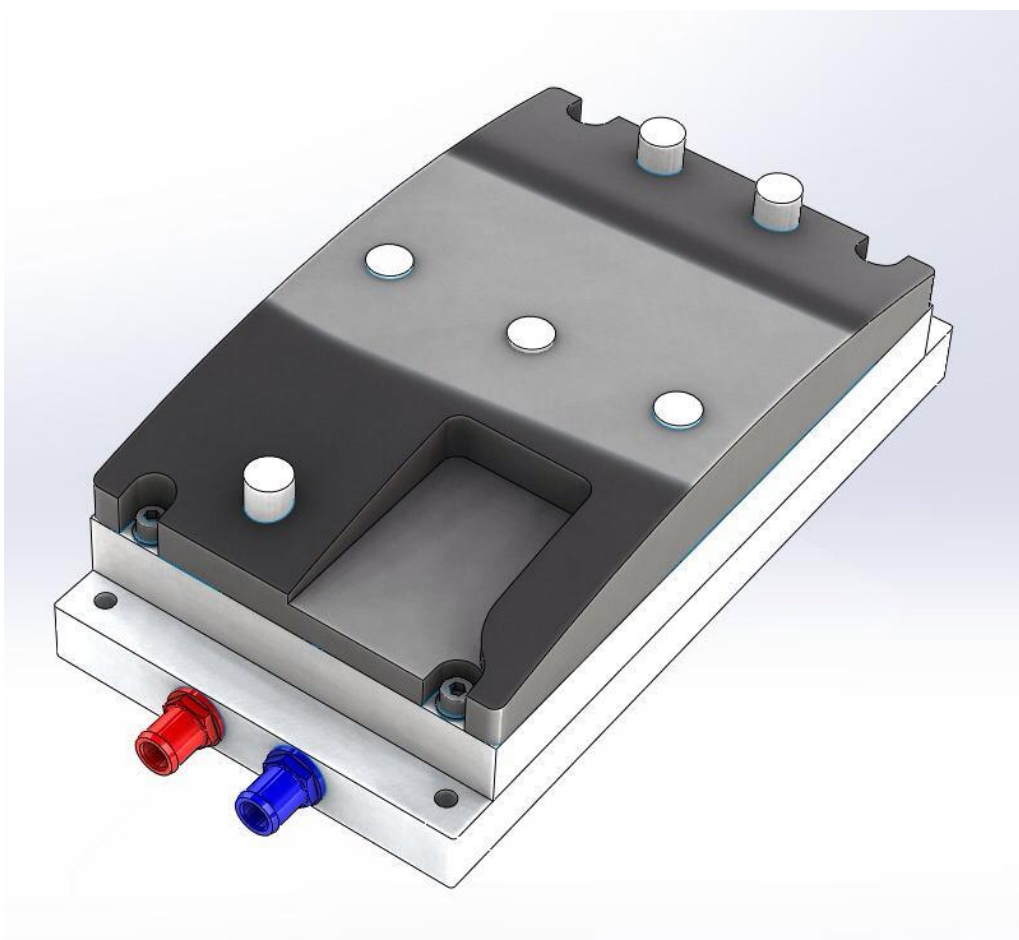
Il·lustració 43 Cablejat de potència.

### 8.6 Disseny mecànic

A continuació es mostra el model mecànic del controlador amb les seues dimensions i model en 3D. A la il·lustració 44 es pot veure el model en 2D del controlador on es mostren les diferents connexions (B<sup>+</sup>, B<sup>-</sup>, M1, M2, M3...) i a la il·lustració 45 el model 3D.



Il·lustració 44 Planol del 2D del controlador.



Il·lustració 45 Model 3D del controlador.



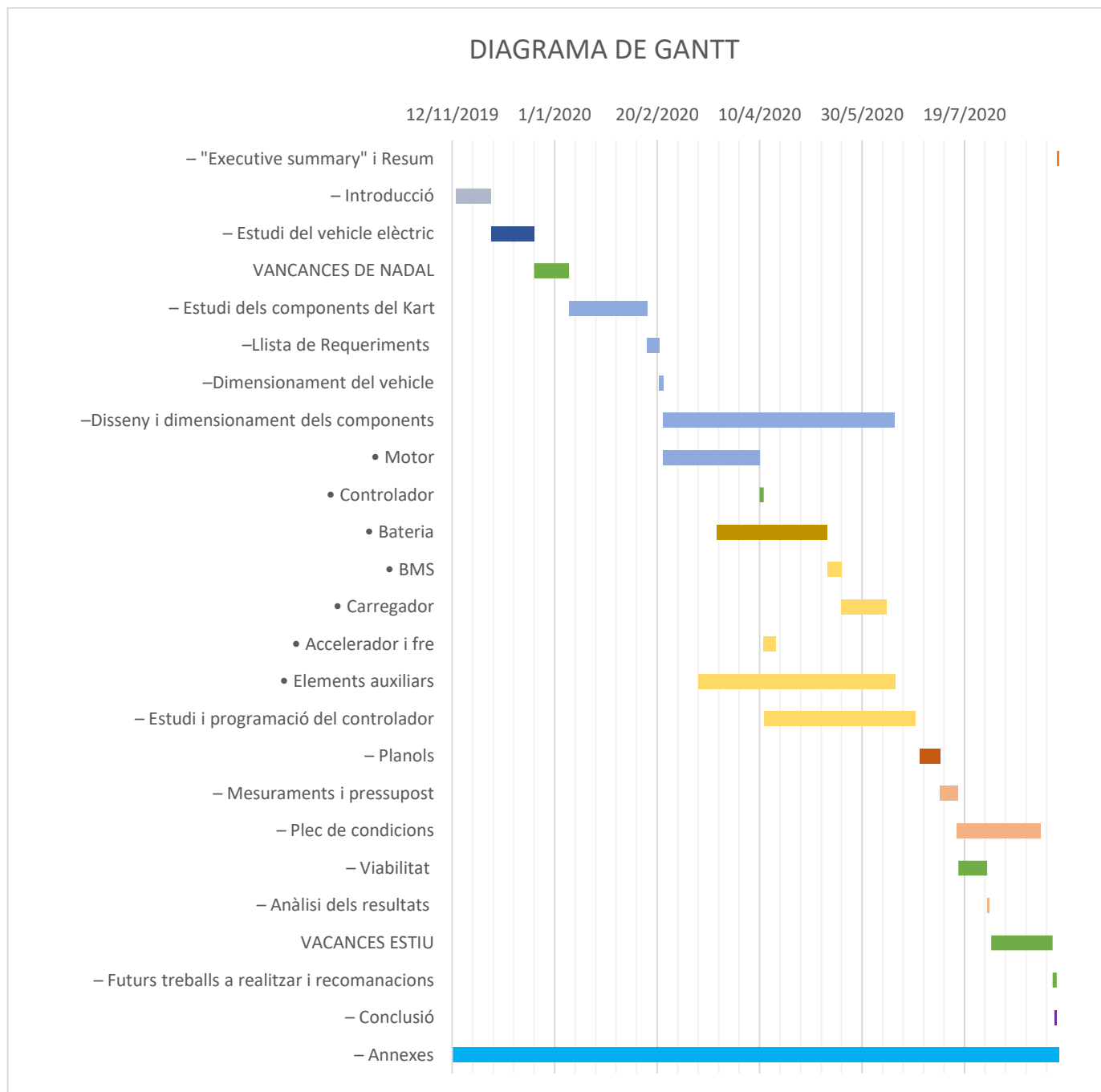
## 9. ELEMENTS DE SEGURETAT

Dins del nostre sistema s'inclouen diferents elements de seguretat que anem a ressaltar a continuació per fer un poc d'èmfasi i que queden presents en una part del treball :

- **Seguretat en bateries:** realitzada pel contactor K2 s'encarrega de la seguretat de la bateria obrint-se si el BMS detecta una errada en el sistema que pugui danyar el funcionament de la bateria, el qual tallaria l'alimentació a la bobina amb relé que tanca el contactor i així aquest s'obri.
- **Seguretat del motor:** realitzada pel contactor K1 el qual s'encarrega de permetre l'arribada de tensió i corrent al controlador i motor. El controlador mateix, s'encarrega de tallar el corrent que circula per la bobina amb relé que una vegada la corrent es tallada el contactor de seguretat K1 s'obri i el motor deixa de funcionar.
- **Seguretat del pilot:** mitjançant els botons d'emergència normalment tancats : Seta 1 i Seta 2. Un situat dins del vehicle a la zona de comandaments i l'altre a l'exterior del vehicle. Aquests serveixen per parar el funcionament del motor tallant el corrent que circula per la bobina amb relé que una vegada la corrent es tallada el contactor de seguretat K1 s'obri i el motor deixa de funcionar.
- **Proteccions anti-sobreescalefaments:** els sistemes de refrigeració del motor, controlador i bateria que s'encarreguen de regular la temperatura de cada component.

# 10. DIAGRAMA DE GANTT

S'utilitza un diagrama de GANTT per a organitzar i planificar les tasques realitzades en aquest projecte. Aquest és un dels mètodes més eficaços per a seguir l'estat d'avançament d'un projecte. El diagrama de GANTT s'adjunta a continuació:



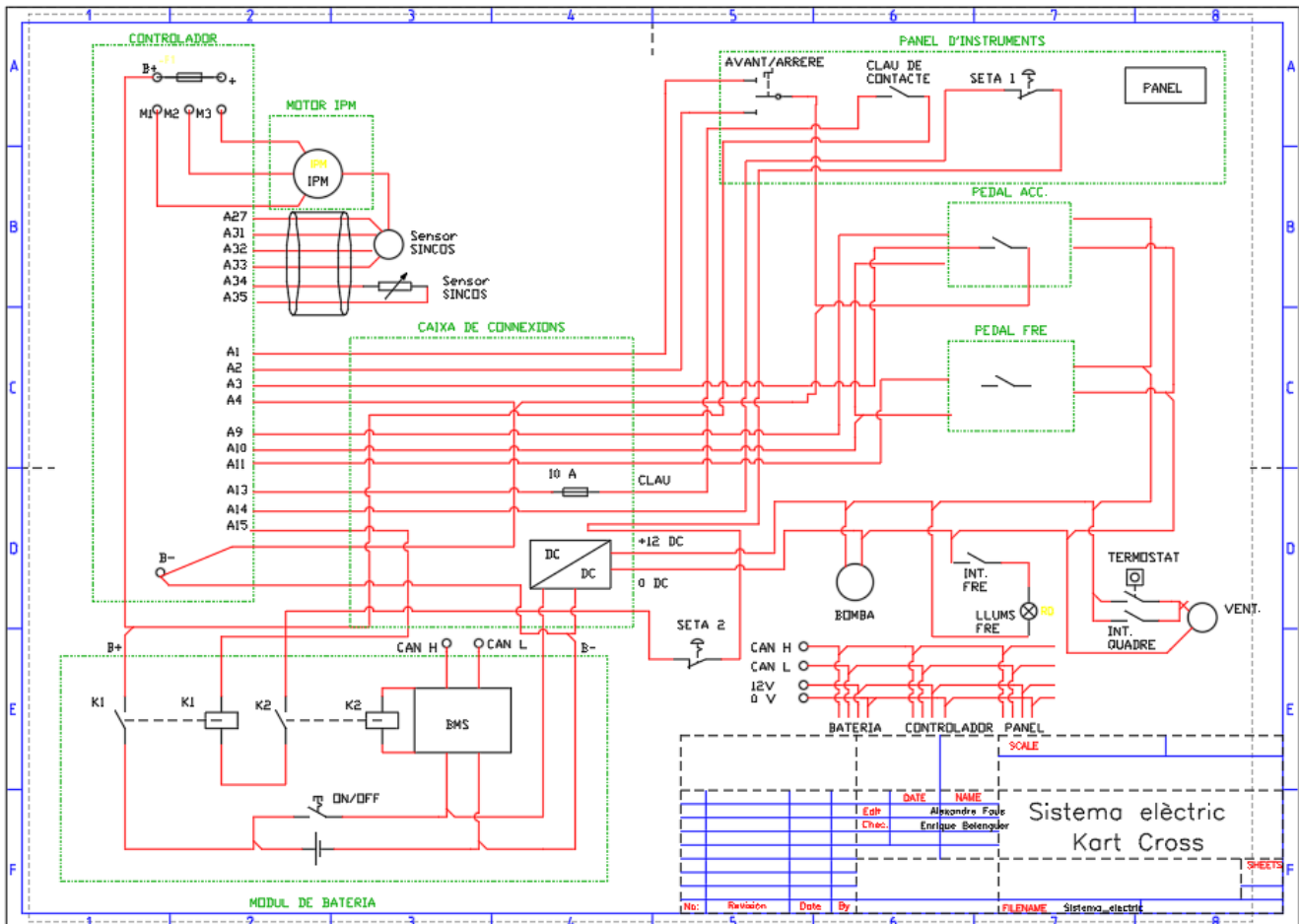
Il·lustració 46 Diagrama de GANTT.

# 11. PLÀNOLS 2D I MODEL 3D

En la següent part del TFG es presentarà el model del kart dissenyat en 2D i en 3D. Per al model 2D s'ha utilitzat el software AUTOCAD ELECTRICAL 2020. Altrament, per al model 3D s'ha dissenyat amb el software SolidWorks junt a l'equip de mecànica del projecte. A aquest s'han tingut amb conter les dimensions generals de cada element per a la solució definitiva. Cal remarcar que la representació del model és una representació qualitativa i no exacta ni definitiva. Sobretot al cablejat elèctric en 2D on l'esquema elèctric anirà avançant durant el procés de disseny i perfeccionament que ens queda fins que el kart estigui en funcionament, adaptant-se a les necessitats del controlador i especificacions desitjades.

## Plànols en 2D

Es mostra als plànols la solució que s'ha pres per al cablejat elèctric del kart on es poden distingir els 3 blocs principals motor, controlador i bateria. Juntament es troben també els elements secundaris com pedals, el panel d'instruccions i la caixa de connexions. A la il·lustració 47 es presenta el model de cablejat elèctric seleccionat:



Il·lustració 47 Planol en 2D del sistema elèctric.

Com es pot observar, totes les connexions entre blocs passen per la caixa de connexions on també s'incorporen elements com un fusible de 10A i un transformador DC/DC a 12V.

Dintre del disseny del cablejat elèctric, s'ha afegit un CAN-BUS de dades. CAN significa Controller Area Network (xarxa d'àrea de controlador) i permet que las unitats de control estén interconnectades i intercanvien dades entre sí mentre que es mantenen estructurats els sistemes elèctrics i electrònics evitant que ocupen massa espai. Tota la informació s'intercanvia mitjançant dos cables bidireccionals el CAN-High (per a senyals de nivell lògic alt) i el CAN-Low (per a senyals de nivell lògic baix) els quals estan entrellacen el motor, el controlador i la bateria per a que es comuniquen entre ells.

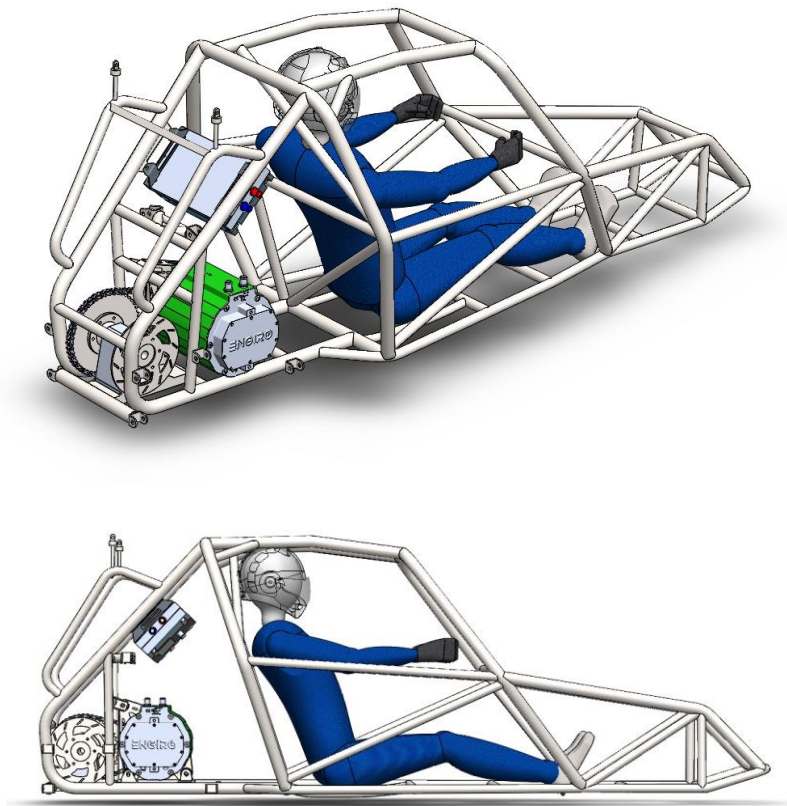
### Model 3D

Tanmateix es mostraran imatges del model 3D del kart des de diferents angles. Observant primerament, el model inicial del kart amb un sistema de tracció a combustió. Tot i seguit es mostrarà la solució seleccionada per a posicionar el motor, controlador i la transmissió per cadena al kart. En aquest model cal nomenar que falta la incorporació de la bateria, caixa de connexions i altres elements secundaris. A la següent il·lustració es mostra el kart de combustió com es tenia a l'inici del projecte.



Il·lustració 48 Model de combustió del kart cross inicial.

Aquest sistema de combustió inicial s'ha transformat al model que se us mostra a continuació:



Il·lustració 49 Model elèctric del kart cross transformat.

Es pot apreciar al model elèctric anterior els components que s'han plaçat ja al kart, com bé son el motor, el controlador i la transmissió, els quals es troben darrere del seient del pilot a l'espai que s'havia pensat a la fase de disseny per a ells. També es troba el xassís el qual s'ha mantés en gran mesura. Altres elements que encara no estan dibuixats al model 3D, es té ja la idea d'on es van a plaçar, com són: la bateria (baix del seient del pilot), els pedals (als peus del pilot), i la caixa de connexions (situada darrere del seient del pilot).

## 12. MESURAMENTS I PRESSUPOST

El pressupost és el conjunt de costos al voltant d'un projecte que permeten a una empresa o organització establir prioritats i avaluar la consecució dels seus objectius. Es tracta d'un document o informe on es detallen els costos que tindrà un servei en cas de realitzar-se.

El pressupost està compost per la suma dels recursos humans, recursos I+D imputables i els materials/components utilitzats en el disseny.

Primerament, a l'hora d'establir un cost de l'hora de treball, com el treball ha estat realitzat per un enginyer junior amb poca experiència incrementa el temps que s'ha dedicat a l'elaboració del projecte, temps que no invertiria un enginyer sènior. Aleshores, s'esdevé normal que mirant el cost al mercat, es pren el cost d'un enginyer junior de 30€/h davant d'un sènior que costa 45€/h de mitjana.

Segonament, per als costos de recursos I+D, s'inclouen tots els aparells hardware i software imputables com a part necessària per al desenvolupament del treball. Dins d'aquests es prendrà el seu valor amortitzat per a ser coherents amb el pressupost.

Finalment, en relació als materials i components necessaris per al disseny, prendrem el seu preu unitari i el multiplicarem per les unitats comprades en el cas de que fora necessari. En el cas de que el material estigui ja en estoc a la universitat es prendrà un valor de mercat raonable en relació al producte en particular.

Recursos humans	Preu per hora (€/h)	Hores de treball (h)	Cost (€)
Investigació	30	100	3.000
Disseny	30	100	3.000
Redacció	15	75	1.125
<b>Total</b>		275	7.125

Taula 6 Costos en recursos humans.

I+D	Preu unitari (€)	Amortització (€)
<b>Hardware</b>		
Ordinador	900	150
<b>Software</b>		
Autocad Electrical 2020 (versió estudiant)	0	0
Autocad 2020 (versió estudiant)	0	0
SolidWorks (versió estudiant)	0	0
Pack Office (versió estudiant)	0	0
<b>Total</b>	<b>900</b>	<b>150</b>

Taula 7 Costos en I+D.

Material/Components	Quantitat	Preu unitat (€)	Preu (€)
<b>Kart cross de combustió</b>	1	5500	5.500
<b>Motor Engiro 19 kW</b>	1	3030	3.030
<b>Controlador SuperSigma2</b>	1	1435	1.435
<b>Cel·la Samsung 25R 3.6V</b>	552	4,9	2.704,8
<b>12-Cell Lithium BMS Module V3</b>	46	50	2.300
<b>Carregador</b>	1	175	175
Transformador	1	130	130
Pont de tiristors	1	45	45
<b>Pedal Electric Accelerator Pedal Ass'y ( MTF3 )</b>	1	94	94
<b>Metre de cable 70 o 95 mm<sup>2</sup></b>	10	1	10
<b>Total</b>			<b>15.248,8</b>

Taula 8 Costos en materials.

Cost total (€)	Cost (€)
<b>Recursos humans</b>	7.125
<b>Recursos I+D</b>	150
<b>Materials i Components</b>	15.248,8
<b>Base imposable</b>	18.614,7
<b>IVA (21%)</b>	3.909,1
<b>Total</b>	<b>22.523,8</b>

Taula 9 Costos totals.

# 13. PLEC DE CONDICIONS

El present apartat fa referència a les condicions que han de complir el kart i els seus components, integrants en disseny elèctric. Les condicions aquí establertes s'exigeixen per a proporcionar les garanties suficients de bon funcionament de tots els elements integrats en el kart, assignant així mateix, les normes de seguretat i duració, tant dels components dels projectes, com de les xarxes d'alimentació i d'energia elèctrica, corresponents als mateixos, admetent pels esmentats elements, l'ús considerat normal en aquest tipus de vehicle.

## CONDICIONS TÈCNIQUES

### Exigències generals:

Un kart està compost d'un xassís - quadre (amb o sense carrosseria), dels pneumàtics i del motor. Aquest ha de complir les condicions generals següents:

- Posició de conducció: sobre el seient i els peus mirant cap endavant.
- Nombre de rodes equipades amb pneumàtics: 4.
- Material: la utilització del titani sobre el xassís està prohibit

### Exigències específiques del projecte:

- Places: Monoplça.
- Tracció: tracció posterior totalment elèctrica.
- Transmissió: per cadena.
- Motor: AC síncron amb imants permanents i sense escombretes.
- Potència nominal: 19 kW.
- Potència màxima: 39 kW.
- Tipus de control: control vectorial.
- Bateria: bateria d'ió liti.
- Autonomia: igual o inferior a 45 min.
- Capacitat de la bateria: 3 kWh.
- Control de la bateria: BMS (Battery Management System).
- Carregador: estació externa de recàrrega amb cable de connexió.
- Sistema de frenat: fre motor i fre hidràulic.
- Elements de seguretat per al motor: si.
- Elements de seguretat per a la bateria: si.
- Sistema de refrigeració: si
- Xassís: si.



- Càrrega útil: 100kg.
- Botó de seguretat interior: si.
- Botó de seguretat exterior: si.
- Fars: si
- Kit de comunicació: si
- Airbag: si
- Enganxament per a remolc: si

## CONDICIONS LEGALS

Per a realitzar correctament el present treball es necessari aplicar la reglamentació vigent de la Federació Catalana d'Automobilisme (FCA) i la normativa vigent de la Real Federación Española de Automovilismo (RFEA).

Aquesta reglamentació s'aplica a tot el referent al disseny del kart i els seus components per a obtenir l'homologació desitjada. Aleshores s'han tingut en compte els aspectes que fan referència al disseny del kart en els següents reglaments:

- [Reglamento deportivo de campeonatos de España.](#)
- [Reglamento técnico de campeonatos de España.](#)
- [Reglament esportiu de campionats de Catalunya.](#)
- [Reglament tècnic de campionats de Catalunya.](#)
- [Normativa de la ITV de vehicles elèctrics.](#)

## CONDICIONS D'EXECUCIÓ I MUNTATGE DEL CABLEJAT

- Condició tèrmica de no sobrepassar la intensitat màxima admissible determinada pel REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión de España).
- Condició de la màxima de caiguda de tensió la qual no pot depassar un valor màxim permès entre l'inici de la instal·lació i el punt més llunyà. Valor present al REBT.
- Cables de baixa tensió per damunt dels d'alta tensió
- Els cables de baixa tensió es podran instal·lar paral·lelament a altres de baixa o alta tensió, mantenint entre ells una distància mínima de 0,10 m amb els cables de baixa tensió i 0,25 m amb els cables d'alta tensió.
- Eviti torçar el cable sobre el seu eix.
- Eviteu danyar o raspar el recobriment.

- Eviteu angles pronunciats en les voltes del cable.
- No col·locar objectes pesats sobre el cable.
- Deixar un espai per permetre al cable un xicotet desplaçament.
- La curvatura del cable no ha d'excedir 8 vegades el seu diàmetre.
- No realitzi mes de 3 angles de curvatura amb el mateix cable.
- Eviteu l'exposició lliure de el coure dels parells trenats (tall o connexió).
- Procureu evitar la instal·lació dels cables i els seus terminals propers a fenòmens electromagnètics (com bobines, motors, transformadors i altres).
- Es recomana utilitzar cables amb protecció addicional (blindats o amb pantalla), per evitar perturbacions en el senyal i la transmissió.
- Desconnectar de la font d'energia la part de la instal·lació on se va a treballar.
- Preveure qualsevol tipus de retroalimentació (connectar a terra o en curtcircuit les possibles fonts de voltatge).
- Verificar absència de voltatge als elements actius de la zona de treball.
- Diferenciació de les línies de baixa, mitja i alta tensió. Alta tensió color taronja.
- Cada cable amb un color específic segons la senyal que transporti.
- Apagar equips al realitzar manteniment.
- Utilització de ferramentes dissenyades per a l'operació i homologades.
- Treballar amb calçat amb sola aïllant i mai sobre sol mullat. Calçat adequat segons la norma INEN 1 926/1 992-08.
- Mai manipular elements o equips electrònics amb mans mullades o humides.
- Utilització de guants aïllants segons la normativa IEC 60903:2002.
- Utilització de lents de seguretat.

# 14. VIABILITAT

En aquest apartat es pretén demostrar la viabilitat de l'ús d'un vehicle elèctric en front a un vehicle de combustió convencional des d'un punt de vista econòmic i ambiental. Paral·lelament es farà un estudi de la viabilitat econòmica d'aquest TFG respecte a les seues aplicacions en el món de l'automòbil.

## Viabilitat econòmica

En el següent estudi s'estudiaran diferents tipus de viabilitat econòmica d'aquest projecte des de les diferents aplicacions del mateix:

1. Projecte destinat a l'estudi del vehicle elèctric per a l'ensenyança universitària en graus i postgraus.
2. Estudi de la viabilitat de la transformació d'un vehicle de combustió en elèctric i de consum entre els dos tipus de vehicle.
3. Anàlisi de la possible producció i venda en sèrie del kart.

Anàlisi dels diferents casos:

1. Projecte destinat a l'estudi del vehicle elèctric per a l'ensenyança universitària en graus i postgraus:

Tenint en compte que és un projecte destinat a l'ensenyança universitària, consultat la llei tributària, el IVA suportat no va a ser deduïble aleshores serà un major cost per al projecte. Per tant es partirà d'un cost real per a la universitat de 22.523,8€.

Per a l'estudi de la viabilitat econòmica es deuria comparar els futurs ingressos amb les despeses originades (22.523,8€). Només es podran tindre ingressos si es cobrara alguna taxa als alumnes, i com que això està regulat, no es farà, i aquesta inversió repercutirà en una major qualitat en l'ensenyament.

Ara bé, en l'hipotètic cas que gràcies a aquest estudi es realitzés a la UJI un màster en vehicles elèctrics es podria recuperar aquesta inversió, i també obtenir beneficis, una vegada s'han cobert els costos. Tot això també es deuria regular al preu del màster o dels estudis que s'oferiren.

2. Estudi de la viabilitat de la transformació d'un vehicle de combustió en elèctric i de consum entre els dos tipus de vehicle:

Després de fer un estudi de mercat, un kart amb les característiques del kart dissenyat té un preu d'entre 10.000-15.000€. Aleshores si ho comparem al cost que ha tingut la transformació que s'ha realitzat en aquest projecte és de 22.523,8€. Però, consultada la llei tributària, com aquest fi seria purament d'investigació i servei per a la universitat el IVA seria deduïble i aleshores el cost del projecte seria de 18.614,7€.

Lavors s'arriba a la conclusió que econòmicament parlant el cost del projecte (18.614,7€) és entre un 15% i un 45% més car del seu valor de mercat (10.000-15000€).

Altrament, si es pren en compte que aquest ha sigut el primer prototip on s'ha hagut de desenvolupar un gran treball d'investigació i coneixença dels components el que ha suposat més hores de feina. A més, també s'han produït errades o modificacions durant la fase d'assaig que han suposat una despesa addicional de temps i de recursos, en el cas de produir un segon prototip ja ens els estalviaríem.

Ara bé, en un futur, com en aquest primer estudi s'ha après a realitzar aquesta transformació, en el cas de realitzar més transformacions el cost de: disseny, concepció i càlculs es farien en un temps menor. El mateix que passaria a la part de muntatge, el que suposaria un cost menor en aquesta primera fase, el que faria més viable aquesta transformació.

Paral·lelament s'ha realitzat un estudi de l'estalvi econòmic en carburant que suposa la transformació del kart de combustió en elèctric. Per a provar-ho, s'ha calculat el preu en gasolina i en energia elèctrica per a recórrer 100km amb un cotxe estàndard.

A 2020 segons dades de la seu electrònica d'indústria del govern d'Espanya el preu mig de la gasolina aquest any és de 1,2€ i el del dièsel 1,1€. Aleshores s'estableix pel moment un preu mig del carburant de 1,15€.

Segons dades de la Seu Electrònica del govern d'Espanya el consum de carburant d'un vehicle de combustió mitjana de 7l/100km. Tenint en compte el preu i els litres consumits al realitzar 100km, s'estima un cost mig de 8,05€ cada 100km.

Tanmateix, si s'analitza el cost de realitzar 100km amb un vehicle elèctric. El preu de l'energia segons dades de la REE (Red Electrica Española), tenint en compte les diferents companyies i prenent la seua tarifa a preu fixe, s'estableix com a preu mitjà: 0,12 €/kWh.

Altrament, tenint en compte que la bateria seleccionada té una capacitat de 60 Ah i el sistema elèctric un consum de 10kW per una conducció normal, el que ve a ser una velocitat mitja de 35km/h. Llavors s'estima un temps de 2,85h realitzar 100km. Doncs l'Energia definida com  $E = P \cdot t = 28,5 \text{ kWh}$ . A l'hora de realitzar 100km, s'estima un cost de 3,42€/100km.

D'aquest últim estudi de la viabilitat es conclou que realitzar 100km amb un vehicle de combustió és un 235% més car que de realitzar-los amb un vehicle elèctric.

### 3. Anàlisi de la possible producció i venda en sèrie del kart:

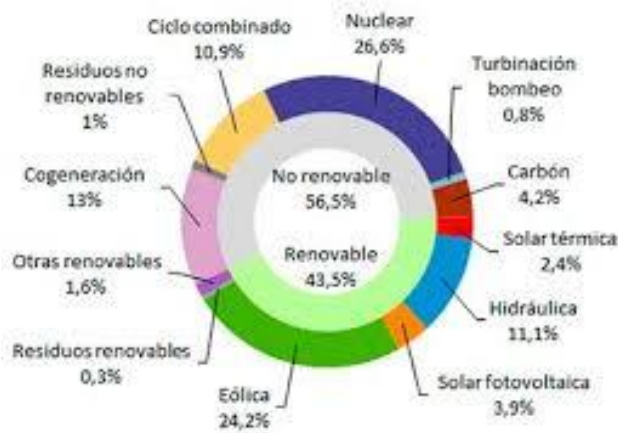
En principi una producció en sèrie del kart suposaria una major inversió en infraestructura, màquines, automatitzar el procés de muntatge, materials, i recursos humans el que comportaria un major cost. Per a realitzar aquest anàlisi caldria aleshores conèixer el cost total de producció, mitjançant el qual es poden calcular el nombre mínim d'unitats que s'han de vendre per cobrir costos i fer rendible la inversió. Aquest valor es conegut com llindar de rendibilitat i tota unitat que es ven de més a partir d'aquesta suposa un benefici per a l'empresa.

Aquest anàlisi amb les dades amb les quals partim no es possible realitzar-lo, degut a que ens falten les dades econòmiques mencionades al paràgraf anterior.

## Viabilitat ambiental

A aquesta part, ens centrem en estudiar la viabilitat ambiental del vehicle elèctric davant d'un vehicle de combustió, estudiant en este cas les emissions de CO<sub>2</sub> que emeten.

El vehicle elèctric com bé es sap, no produeix emissions de CO<sub>2</sub> mentre s'està utilitzant. No obstant això, la generació d'energia de la qual s'alimenta si que produeix emissions ja que el seu origen no és 100% renovable.



Il·lustració 50 Gràfic de la proveniència de l'energia consumida a Espanya.

Com es pot veure al gràfic de la il·lustració anterior, segons la REE (Red Electrica Espanyola) el 43,5% de l'energia consumida en Espanya és renovable el que fa factor d'emissió de CO<sub>2</sub> atribuïble al subministre elèctric sigui del 321 g·CO<sub>2</sub>/kWh. Aleshores aquest serà el factor d'emissió del vehicle elèctric.

En el cas dels vehicles de gasolina actuals (que són els que menys contaminen per kilòmetre), en el cas d'un vehicle de gasolina d'elevada cilindrada circulant per ciutat, es consumeixen 307,46 g·CO<sub>2</sub>/km. Expressat en g·CO<sub>2</sub>/kWh :

$$307,46 \text{ g} \cdot \text{CO}_2/\text{km} \cdot \frac{1 \text{ km}}{0,055 \text{ l}} \cdot \frac{1 \text{ l}}{9,7 \text{ kWh}} = 576,3 \text{ g} \cdot \text{CO}_2/\text{kWh}$$

Cal comentar que s'ha pres com gest de gasolina 0,055 litres per kilòmetre i s'ha considerat que 1 litre de gasolina produeix una energia de 9,7 kWh.

D'aquesta manera es demostra que el vehicle elèctric és menys contaminant que el vehicle de combustió el qual produeix un 56% més de CO<sub>2</sub>.

## 15. FUTURS TREBALLS A REALITZAR

En aquest apartat es presenten els treballs futurs proposats després de la realització del present TFG.

- Muntatge del sistema elèctric al kart.
- Disseny i muntatge de l'estació de càrrega del kart.
- Disseny i muntatge d'una bateria d'ió liti amb el voltatge calculat per a una autonomia de 45 minuts.
- Distribució del cablejat i les dimensions de la caixa de connexions.
- Desenvolupament d'un mòdul GPS per a conèixer la posició del GPS en tot moment.
- Dimensionament i selecció d'un sistema de radiocomunicació entre el kart i una estació externa.
- Selecció de components auxiliars com per exemple la pantalla, el sistema de refrigeració...
- Finalització del model 3D.
- Realització d'un anàlisi de prestacions i resistència.

L'esquema elèctric que s'ha dissenyat per al kart és un esquema en desenvolupament (com en el cas de la bateria o carregador), al qual se li afegiran millores per augmentar la seguretat i el correcte funcionament del sistema. L'esquema elèctric anirà avançant durant el procés de disseny que ens queda fins que el kart estigui en funcionament, adaptant-se a les necessitats del controlador i especificacions desitjades.

Un dels punts a analitzar i del que també poden eixir modificacions és en l'aparició d'errades en el procés d'arrencament. En aquest procés s'analitzaran totes les possibles combinacions d'arrencament que pugui realitzar el pilot del kart amb l'objectiu que cap d'aquestes pugui produir una situació de risc per al pilot o el vehicle.

Paral·lelament, s'haurà de tindre molta cura amb el disseny del carregador, i perfeccionar el mètode de control de recàrrega per a no provocar danys a la bateria.

## 16. ANÀLISI CRÍTIC DELS RESULTATS

L'objectiu principal d'aquest projecte és el disseny, dimensionament i muntatge del sistema elèctric d'un kart cross elèctric. S'ha partit del xassís d'un kart cross de combustió vell per a transformar-lo en un vehicle elèctric.

Per a realitzar aquest projecte, s'ha procedit a l'estudi de la història i evolució del vehicle elèctric fins als nostres dies i les perspectives de futur que té. L'objectiu d'aquesta primera part ha estat obtenir una visió global de la situació actual del mercat per al vehicle elèctric respecte al passat.

Altrament, s'ha realitzat un estudi de les tecnologies emprades en la construcció d'un vehicle elèctric. Estudi que ens ha permès conèixer els diferents tipus de complements i poder seleccionar els components més adients, tenint en compte que s'està dissenyant un kart cross, que a més a més s'utilitzarà també per a l'ensenyança universitària.

Així doncs, s'ha calculat la potència necessària tenint en compte una prèvia llista de requeriments. Per a realitzar aquest càlcul es pot fer a través d'un programa informàtic el qual segons les característiques físiques del vehicle que es va a transformar en elèctric, calcular la potència necessària en el seu cas. Aleshores és important programar aquests càlculs.

S'ha seleccionat un motor síncron amb imants permanents sense escombretes de la casa ENGIRO de potència nominal 19 kW i màxima 39 kW com calculat. Aquest tipus de motor presenta una alta eficiència, reduït volum, pes lleuger, alta fiabilitat i absència de manteniment, trets que el designen com a òptim per a l'aplicació al món de l'automòbil. Associat a aquest s'ha seleccionat el controlador SuperSigma2, especial per a aplicacions de tracció d'automòbil i compatible amb el motor. Malgrat que aquest venia programat, s'han hagut d'ajustar alguns paràmetres per a que el funcionament del motor i controlador coincideixi amb el sistema elèctric dissenyat. Finalment s'ha obtingut un funcionament correcte.

Escollit el motor i el controlador, s'ha dissenyat el mòdul de bateria a partir de cèl·lules Samsung 25R de 3,6V de voltatge nominal. Per a alimentar al motor, s'han necessitat 552 cel·les distribuïdes en 24 branques en paral·lel proporcionant una tensió de 82,8V i una corrent de 480A al sistema.



Per a poder recarregar el vehicle, s'ha dimensionat una estació de recàrrega. Aquesta encara està en procés d'elaboració i disseny de components amb l'objectiu de poder realitzar una càrrega de la bateria completa sense perill de danyar-la. De moment, el que s'ha triat la tecnologia que es emprarà, utilitzant un transformador monofàsic i un port de tiristors per a carregar la bateria amb el corrent i voltatge adients.

Alhora de transformar un kart en un vehicle elèctric més complex s'ha hagut de dissenyar elements auxiliars com: un sistema de refrigeració, un panel de control (pantalla), els contactes i palanques d'arrencament i canvi de sentit de marxa, els pedals... Tanmateix, s'han dissenyat elements de seguretat tant per al pilot com per a cada component per evitar qualsevol tipus d'accident.

S'han realitzat els plànols elèctrics en 2D i el model en 3D del kart, aquest últim juntament amb l'equip de mecànica del projecte. Els resultats han sigut satisfactoris, encara que aquests dos models evolucionaran durant la fi del projecte adaptant-se a aquest esquema en desenvolupament.

El cost d'aquest projecte és de 22.523,8€. Aquest cost és considerablement elevat degut a diferents factors:

- Primerament, en aquesta primera transformació s'ha après a treballar en aquest àmbit, aleshores en el cas de realitzar més transformacions el cost de: disseny, concepció i càlculs es farien en un temps menor. El mateix que passaria a la part de muntatge, el que suposaria un cost menor en recursos humans al reduir les hores de treball a aquesta primera fase, el que faria més viable aquesta transformació.
- Segonament, el fet d'haver optat per el paquet de bateries Samsung 25R en sèrie i paral·lel, ha suposat un major nombre de controladors BMS que al necessitar-ne 46 ha reflectit un cost de 2.300€, el qual hagués sigut evitable en el cas d'haver pogut dimensionar una bateria com la que s'està dimensionant actualment on s'utilitzaran menys controladors de tipus BMS.
- Finalment, si el projecte es va a utilitzar només per a ensenyament el IVA no és deduïble. Ara bé, en el cas que aquest es pugui justificar com a projecte destinat a la investigació, el IVA seria deduïble el que suposaria un cost de 18.614,7€. Llavors la Universitat s'estalviaria 3.909,1€. Així doncs, com el projecte es podria justificar com per a aquestes dos aplicacions, caldria calcular una prorrata entre el percentatge utilitzat

per ensenyament i per a investigació amb l'objectiu de saber quant de IVA es podria deduir la UJI.

Al projecte, se li ha afegit un estudi de viabilitat on s'ha demostrat que el vehicle elèctric és més viable que el vehicle de combustió ambientalment i econòmicament, on ho seria soles a nivell de consum de combustible, com s'ha demostrat prèviament.

Ara bé des de el punt de vista de l'ensenyament el projecte resulta atractiu per les aplicacions que tindria en el futur i per el valor afegit que suposa aquest tipus d'ensenyament pràctic i aplicació de coneixements apresos prèviament. Per a la Universitat aquest projecte ha suposat una inversió econòmica important, la qual es reflectirà en una millora de la qualitat de l'alumnat i també repercutirà positivament en propers projectes que es desenvoluparan a la Universitat relacionats amb vehicles elèctrics i sistemes de tracció elèctrica.

Respecte a la transformació del kart en vehicle elèctric basant-nos en el estudi de la viabilitat realitzat a l'apartat anterior, no resulta viable en el cas de realitzar la transformació d'un kart solament. Malgrat açò es podria estudiar la viabilitat de la seua producció en sèrie la qual podria ser concloent, per contra no tenim dades econòmiques per calcular-la.

# 17. CONCLUSIÓ

A partir de la realització d'aquest Treball de Fi de Grau es poden extraure una sèrie de conclusions que es poden dividir en dos grups fortament diferenciats. Per una banda, s'obtenen conclusions de l'anàlisi dels components del vehicle elèctric i del disseny del sistema elèctric aplicables a l'ensenyament universitari. D'altra banda, s'extrauen conclusions respecte al procediment de càlcul i dimensionament dels components en relació amb la viabilitat de la transformació d'un vehicle de combustió en vehicle elèctric.

Primerament, respecte a les conclusions aplicables a l'àmbit de l'ensenyament universitari: s'ha aprofundit en el coneixement de les tecnologies emprades per a la construcció dels vehicles elèctrics s'han diferenciat els tipus de motors per aplicacions, el que ens permet després utilitzar aquest estudi per a l'elaboració d'altres sistemes com per exemple: un sistema industrial amb motors asíncrons, o un kart teledirigit amb motors de corrent contínua. A més a més, s'ha aprofundit en l'estudi de les tecnologies emprades per a bateries i el seu procés de càrrega. Aquestes són el futur del vehicle elèctric i cal conèixer de primera mà els nous dissenys de bateria per estar al dia en aquest mercat en constant moviment i així poder investigar les tecnologies actuals amb l'objectiu de proposar millores i solucions a problemes existents actualment en aquestes tecnologies. A banda d'això, el projecte pot servir a alumnes de la Universitat Jaume I per a comprendre el nexa entre les diferents assignatures del seu grau universitari (en este cas grau en enginyeria elèctrica o industrial) i així aprofundir en l'estudi del vehicle elèctric.

Segonament, respecte a les conclusions extretes respecte a la viabilitat del projecte són que: ambientalment és un projecte amb zero emissions de CO<sub>2</sub> mentre s'utilitza i que sols genera emissions per la forma en com es genera l'energia elèctrica que l'alimenta. Emissions de CO<sub>2</sub> que són menors que a les d'un vehicle de combustió.

Econòmicament, el projecte no és viable i no produeix cap benefici econòmic per a la UJI però tanmateix repercuteix amb una millora de la qualitat de la formació de l'alumnat.

Finalment, m'agradaria afegir una valoració personal. Per a mi ha sigut un plaer tindre l'oportunitat d'ajudar en un projecte d'aquesta magnitud. He après molt, tant des de la part de concepció del projecte, el dimensionament del sistema, el disseny del sistema elèctric, la selecció dels components, el seu muntatge i finalment l'estudi de la viabilitat del projecte. M'ha servit per a aprofundir en el funcionament del sistema elèctric d'un kart cross i per a enllaçar conceptes vistos al grau els qual he pogut aplicar en aquest projecte.

Agraeix la confiança depositada en mi al deixar-me treballar en aquest projecte i desitge seguir ajudant en un futur a la consecució dels objectius que ens hem marcat.

## 18. BIBLIOGRAFIA

- 1) «ACEA - European Automobile Manufacturers' Association». Consulta 1 setembre 2020. <https://www.acea.be>.
- 2) «Acelerador Electrónico - Módulo de Pedal de Acelerador - e-auto.com.mx - El Sitio de los Mecánicos y Refaccionarios». Consulta 11 agost 2020. <https://e-auto.com.mx/enew/index.php/85-boletines-tecnicos/6571-acelerador-electronico-modulo-de-pedal-de-acelerador>.
- 3) «Aquests són els modes de recàrrega dels vehicles elèctrics». Consulta 12 agost 2020. <http://www.electromaps.com/articulo/aquests-son-els-modes-de-recarrega-dels-vehicles-electrics>.
- 4) «Batería Samsung 25R 18650 20 Amperios - Baterías para todo Reguero Baterías». Consulta 18 agost 2020. [https://www.reguerobaterias.es/p90034164\\_bateria-samsung-25r-li-ion-18650-2-500-mah-20a.html?gclid=EAlaIqobChMln97Wqu7e6wIVmojVCh0J2Q4sEAAYASAAEgJtV\\_D\\_BwE](https://www.reguerobaterias.es/p90034164_bateria-samsung-25r-li-ion-18650-2-500-mah-20a.html?gclid=EAlaIqobChMln97Wqu7e6wIVmojVCh0J2Q4sEAAYASAAEgJtV_D_BwE).
- 5) Fácil Electro. «Cargadores de Baterías de litio... Que son? - Fácil Electro Baterías, Electrónica, Tecnología Electrónica», 14 novembre 2018. <https://www.facilelectro.es/cargadores-de-baterias-de-litio-que-son/>.
- 6) Baterías y Amperios. «Conexiones en serie y en paralelo para varias baterías», 7 abril 2014. <https://bateriasyamperios.com/conexiones-en-serie-y-en-paralelo-para-varias-baterias/>.
- 7) espíritu RACER. «Control de un vehículo a motor eléctrico», 27 març 2018. <https://espirituracer.com/reportajes/control-de-un-vehiculo-a-motor-electrico/>.
- 8) «Control Engineering | Understanding permanent magnet motors». Consulta 12 setembre 2020. <https://www.controleng.com/articles/understanding-permanent-magnet-motors/>.
- 9) «Customized motors: Engiro GmbH». Consulta 12 setembre 2020. <https://www.engiro.de/en/customized-motor>.
- 10) delfi. «Permanent Magnet Synchronous Motor Construction». *Car Construction* (blog), 10 novembre 2019. <https://www.newkidscar.com/electric-car/permanent-magnet-synchronous-motor-construction/>.
- 11) «Documentation scientifique et technique, conseil et formation | Techniques de l'Ingénieur». Consulta 2 maig 2020. <https://www.techniques-ingenieur-fr.docelec.insa-lyon.fr/>.
- 12) «El acelerador electrónico, ¿cómo funciona? | Pruebaderuta.com». Consulta 12 agost 2020. <https://www.pruebaderuta.com/el-acelerador-electronico-como-funciona.php>.

- 13) «El cotxe elèctric, el cotxe del futur». Consulta 12 abril 2020.  
<http://circuitor.es/ca/formacio/vehicle-electric/el-cotxe-electric-el-cotxe-del-futur>.
- 14) «Energies | Free Full-Text | A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development | HTML». Consulta 16 març 2020. <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/8/1217/htm>.
- 15) Grustan, Joan Anton. «CAMPIONATS DE CATALUNYA DE KÀRTING», s.d., 31.
- 16) «GVM Global Vehicle Motors - for Mobile Applications | Parker NA». Consulta 12 agost 2020. <https://ph.parker.com/us/en/gvm-global-vehicle-motors-for-mobile-applications>.
- 17) «Inicio | Red Eléctrica de España». Consulta 23 febrer 2020. <https://www.ree.es/es>.
- 18) ITV. «ITV en coches eléctricos», 15 juny 2017. <https://itv.com.es/itv-en-coches-electricos>.
- 19) Marcos, Plaza de San. «AYUNTAMIENTO DE FREILA», s.d., 12.
- 20) renobat - España. «Métodos de control de carga para baterías industriales». Consulta 7 juliol 2020. <https://www.renobat.eu/metodos-de-control-de-carga-para-baterias-industriales>.
- 21) «Moteur synchrone». Consulta 9 abril 2020. <https://sitelec.org/cours/abati/synch.htm>.
- 22) «Motores eléctricos de inducción vs motores de corriente continua». Consulta 12 agost 2020. <https://forococheselectricos.com/2014/03/motores-electricos-de-induccion-vs-motores-de-corriente-continua.html>.
- 23) tarifaluzhora.es. «Precio del kWh en España en 2020». Consulta 5 setembre 2020.  
<https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh>.
- 24) «Precios de los derivados del petróleo: España 2020 | datosmacro.com». Consulta 7 setembre 2020. <https://datosmacro.expansion.com/energia/precios-gasolina-diesel-calefaccion/espana>.
- 25) «Sede electrónica del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo - Detalle del conjunto de datos». Consulta 1 setembre 2020. <https://sede.serviciosmin.gob.es/es-es/datosabiertos/catalogo/precios-carburantes>.
- 26) Solution, Coco. «Tipos de batería de un coche eléctrico». Consulta 16 agost 2020.  
<https://www.lovesharing.com/tipos-de-bateria-de-un-coche-electrico/>.
- 27) Steinmetz, Karl-Heinz. «Driving the Green Revolution in Transportation», 2016, 9.
- 28) «Type: Engiro GmbH». Consulta 28 agost 2020. <https://www.engiro.de/en/products/motors-generators/type>.
- 29) Un-Noor, Fuad, Sanjeevikumar Padmanaban, Lucian Mihet-Popa, Mohammad Nurunnabi Mollah, i Eklas Hossain. «A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development». *Energies* 10, núm. 8 (agost 2017): 1217. <https://doi.org/10.3390/en10081217>.

- 30) Valero, Jorge. «Un convertidor DC-DC para coches eléctricos con una eficiencia del 98,7% es posible». Hipertextual, 7 agost 2014. <https://hipertextual.com/2014/08/convertidor-dc-dc>.
- 31) Energie Plus Le Site. «Variateurs de vitesse», 25 setembre 2007. <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/variateurs-de-vitesse/>.
- 32) «Vista preliminar de símbolos IEC-60617: Seccionador unipolar | AutoCAD Electrical 2018 | Autodesk Knowledge Network». Consulta 10 juny 2020. <https://knowledge.autodesk.com/es/support/autocad-electrical/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/AutoCAD-Electrical/files/GUID-745AF70A-8A25-4729-AAB7-408A61929B9E-htm.html>.

# ANNEX

## Motor

205W-08009-ABC

### Technical Data Machine



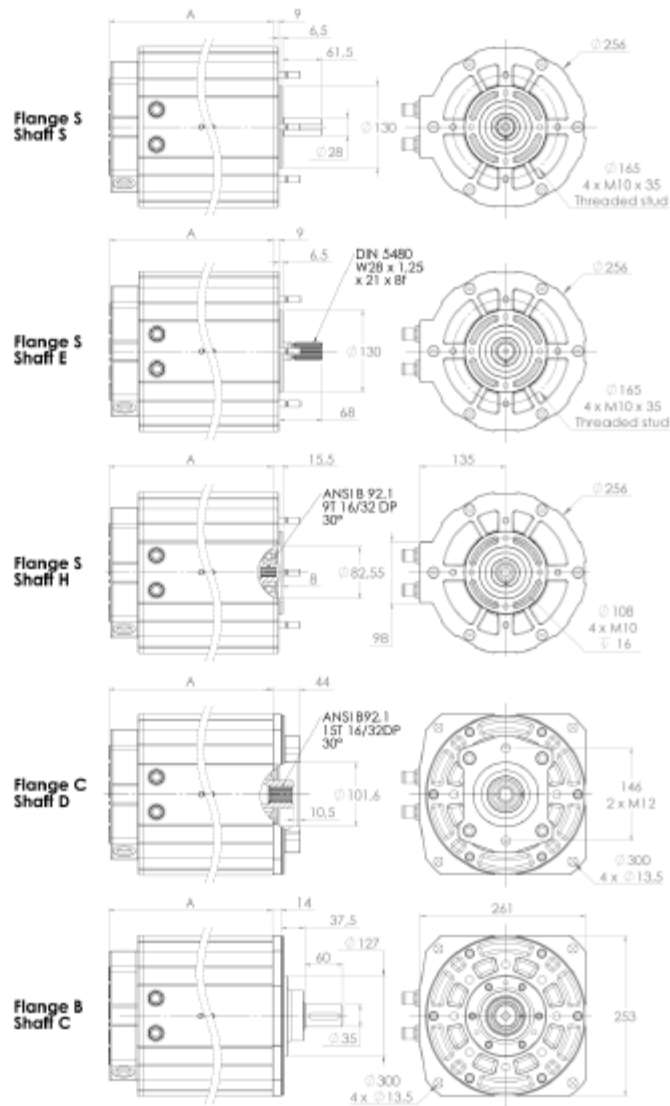
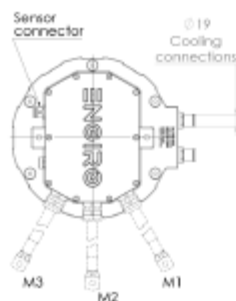
Nominal Operation (S1, cooling as specified below)				
Torque	$T_{nom}$			76 Nm
Power	$P_{nom}$			19 kW
Speed	$n_{nom}$			2360 rpm
Phase rms-current	$I_{nom}$			472 A
Battery voltage (DC)	$U_{nom}$			48 V
Electric frequency	$f_{e(nom)}$			157 Hz
Power factor	$\cos(\varphi)$			0.70
Maximal Values (S2, 10s, cooling as specified below)				
Torque	$T_{max}$			189 Nm
Power	$P_{max}$			39 kW
Phase rms-current	$I_{max}$			1385 A
Battery voltage (DC)	$U_{max}$			96 V
Speed	$n_{max}$			6180 rpm
Electric frequency	$f_{e(max)}$			412 Hz
Electrical Data				
Number of phases				3
Number of pole pairs				4
Maximal efficiency				>96 %
$T/I$ constant ( $I < I_{nom}$ )				0.16 Nm/A <sub>rms</sub>
$U/n$ constant (AC)	rms:	11.0	peak:	15.5 V/(1000rpm)
$K_e$ constant (AC)	rms:	0.026	peak:	0.037 V/(rad*s <sup>-1</sup> )
Additional Data				
Weight (w/o cables)				see page 4
Rotor moment of inertia				0.0124 kg*m <sup>2</sup>
Protection category				IP65 / IP69k
Maximal motor temperature				140 °C
Allowed ambient temperature				-20 ... 45 <sup>1)</sup> °C
Cooling (medium, flow rate, inlet temperature, pressure)				water/glycol 50/50, 6 l/min, ≤ 45°C, ≤ 0.5 bar
Temperature monitoring				1 x KTY84-130
Type approval				CE, EN 60034
Customs tariff number				8501 5230
Connectors				
Power terminals				3 x M25 cable gland
Signal connectors				M16, 10 Pin
Cooling connectors				2 x 3/4" / 19 mm



Available Type Variants			
type number	A: flange	B: shaft	C: position sensor
205W-08009-	S: standard	S: cylindrical shaft with keyway Ø28mm	R: resolver
	B: flange for fan motor	H: hollow shaft with internal splines ANSI B 92.1	E: sin/cos encoder
	C: flange for fan without insert	E: external splines, DIN 5480	N: none
		C: cylindrical shaft with keyway Ø35mm	
		D: hollow shaft with internal splines ANSI B 92.1	

Dimension „A“ = 297 mm

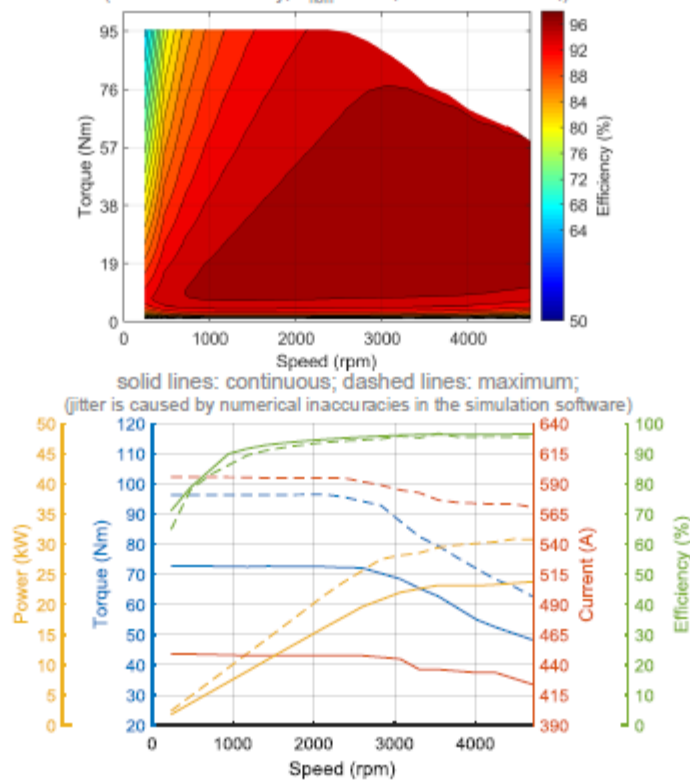
Approximate machine weight		
flange	shaft	kg
S	S	37
S	E	37
S	H	36
C	D	39
B	C	41



Nominal Operation Drive Set (S1)			
Torque	$T_{nom}$		72 Nm
Power	$P_{nom}$		18 kW
Speed	$n_{nom}$		2360 rpm
Phase rms-current	$I_{nom}$		450 A
Battery voltage (DC)	$U_{nom}$		48 V
Electric frequency	$f_{el, nom}$		157 Hz
Power factor	$\cos(\varphi)$		0.70
Maximal Values Drive Set (S2, 1-10s)			
Torque	$T_{max}$		96 Nm
Power	$P_{max}$		32 kW
Phase rms-current	$I_{max}$		596 A
Battery voltage (DC)	$U_{max}$		48 V
Speed	$n_{max}$		4700 rpm
Electric frequency	$f_{el, max}$		313 Hz

Simulated Efficiency and Motor Characteristic of Motor Application

(electric machine only;  $U_{nom} = 48$  V; machine at 100 °C;)



## Controlador


### Menú 1 – Configuració

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Min. adjust	Max. adjust	Step size	Default
1	Acceleration delay	Accel	0.1 s	20.0 s	0.1 s	2.0 s
2	Deceleration delay	Decel	0.1 s	20.0 s	0.1 s	2.0 s
3	Creep speed	Creep	0.0 %	20.0 %	0.1 %	0.0 %
4	Creep speed ramp time	CreepRmp	0.1 s	20.0 s	0.1 s	2.5 s
5	Maximum speed forward	SpdMaxF	0.0 Hz	600.0 Hz	0.1 Hz	100.0 Hz
6	Maximum speed reverse	SpdMaxR	0.0 Hz	600.0 Hz	0.1 Hz	100.0 Hz
7	Neutral brake torque (torque mode only)	NBrake	0 %	100 %	1 %	10 %
8	Neutral brake ramp time	NBrkRamp	0.1 s	20.0 s	0.1 s	8.0 s
9	Neutral brake end delay	NBrkEnd	0.0 s	10.0 s	0.1 s	0.0 s
10	Direction brake torque (torque mode only)	DBrake	1 %	100 %	1 %	100 %
11	Direction brake ramp time	DBrkRamp	0.1 s	20.0 s	0.1 s	1.0 s
12	Max. direction change speed	MxDbrkSp	1 %	100 %	1 %	100 %
13	Foot brake torque (torque mode only)	FBrake	0 %	100 %	1 %	50 %
14	Foot brake ramp time	FbrkRamp	0.1 s	20.0 s	0.1 s	1.0 s
15	Speed threshold to enter end of braking mode	SpdThEbM	0.1 %	50.0 %	0.1 %	15 %
16	Ramp time from the speed threshold to zero	SpdRmpTm	0.1 s	20.0 s	0.1 s	3.0 s
17	Ramp time from the speed threshold to zero low TH	SpdRTmFB	0.1 s	20.0 s	0.1 s	0.4 s
18	Zero Speed threshold to enter hill hold or neutral brake end	ZSpdTh	0.1 %	10.0 %	0.1 %	0.2 %
19	Hill hold time	HHTime	0 s	60 s	1 s	5 s
20	Restraint hill hold speed	HHspeed	0.0 Hz	5.0 Hz	0.1 Hz	3.0 Hz
21	Restraint hill hold torque threshold	HHTrqTH	0.1 %	35.0 %	0.1 %	1.5 %
22	Cutback speed 1 (I/O 5-6 set to Speed)	Speed1	0.0 Hz	600.0 Hz	0.1 Hz	100.0 Hz
23	Inching speed (I/O 5-6 set to Inching)	InchSpd	0.0 Hz	25.0 Hz	0.1 Hz	10.0 Hz
24	Acceleration delay 1	Accel1	0.1 s	20.0 s	0.1 s	3.0 s
25	Deceleration delay 1	Decel1	0.1 s	20.0 s	0.1 s	3.0 s
26	Maximum Drive Torque 1 (Torque Mode Only)	MxDrTrq1	0 %	100 %	1 %	100 %
27	Neutral Brake Torque 1 (Torque Mode Only)	NBrkTrq1	0 %	100 %	1 %	10 %
28	Neutral brake ramp time 1	NBrkRmp1	0.1 s	20.0 s	0.1 s	3.0 s
29	Direction Brake torque 1 (Torque Mode Only)	DBrkTrq1	0 %	100 %	1 %	100 %
30	Direction brake ramp time 1	DBrkRmp1	0.1 s	20.0 s	0.1 s	3.0 s
31	Foot Brake Torque 1 (Torque Mode Only)	FBrkTrq1	0 %	100 %	1 %	50 %
32	Foot brake ramp time 1	FBrkRmp1	0.1 s	20.0 s	0.1 s	3.0 s
33	Cutback speed 2 (I/O 5-6 set to Speed)	Speed2	0.0 Hz	600.0 Hz	0.1 Hz	100.0 Hz
34	Inching time (I/O 5-6 set to Inching)	InchTime	0.1 s	10.0 s	0.1 s	2.5 s
35	Acceleration delay 2	Accel2	0.1 s	20.0 s	0.1 s	4.0 s
36	Deceleration delay 2	Decel2	0.1 s	20.0 s	0.1 s	4.0 s
37	Maximum Drive Torque 2 (Torque Mode Only)	MxDrTrq2	0 %	100 %	1 %	100 %
38	Neutral Brake Torque 2 (Torque Mode Only)	NBrkTrq2	0 %	100 %	1 %	10 %

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Min. adjust	Max. adjust	Step size	Default
39	Neutral brake ramp time 2	NBrkRmp2	0.1 s	20.0 s	0.1 s	4.0 s
40	Direction Brake torque 2 (Torque Mode Only)	DBrkTrq2	0 %	100 %	1 %	100 %
41	Direction brake ramp time 2	DBrkRmp2	0.1 s	20.0 s	0.1 s	4.0 s
42	Foot Brake Torque 2 (Torque Mode Only)	FBrkTrq2	0 %	100 %	1 %	50 %
43	Foot brake ramp time 2	FBrkRmp2	0.1 s	20.0 s	0.1 s	4.0 s
44	Cutback speed 3 (I/O 7 set to speed3)	Speed3	0.0 Hz	600.0 Hz	0.1 Hz	100.0 Hz
45	Handbrake On maximum Speed (I/O 7 set to Handbrake)	HandBrk	0.0 Hz	400.0 Hz	0.1 Hz	10.0 Hz
46	Maximum Drive Torque speed 3 (I/O 7 set to Handbrake)	MxDrTrq3	0 %	100 %	1 %	10 %
47	Speed limit ramp (torque control only)	SpLimRmp	0.1 s	20.0 s	0.1 s	10.0 s
48	Drive torque reduction time	DTrqRtm	0.1	3.0 s	0.1	0.8 s
49	Brake torque reduction time	BTrqRtm	0.1	3.0 s	0.1	0.8 s
50	Power steer delay	PStrDly	0.0 s	50.0 s	0.1 s	5.0 s
51	Electric brake delay	EBrkDly	0.1 s	50.0 s	0.1 s	0.5 s
52	Accelerator pot minimum	AccMin	0.0 V	10.0 V	0.1 V	0.2 V
53	Accelerator pot maximum	AccMax	0.0 V	10.0 V	0.1 V	4.6 V
54	Brake pot minimum	BrkMin	0.0 V	10.0 V	0.1 V	0.4 V
55	Brake pot maximum	BrkMax	0.0 V	10.0 V	0.1 V	4.6 V
56	Steer pot minimum	StrMin	0.00 V	10.00 V	0.01 V	0.20 V
57	Steer pot middle point	StrMid	0.00 V	10.00 V	0.01 V	2.50 V
58	Steer pot maximum	StrMax	0.00 V	10.00 V	0.01 V	4.80 V
59	Wig/Wag fwd threshold	FwdTH	0.0 V	10.0 V	0.1 V	3.0 V
60	Wig/Wag rev threshold	RevTH	0.0 V	10.0 V	0.1 V	2.0 V
61	Dual motor cut out	DMcut	1 %	100 %	1 %	10 %
62	Dual motor angle 1	DMang1	1 %	100 %	1 %	60 %
63	Dual motor angle 2	DMang2	1 %	100 %	1 %	70 %
64	Dual motor angle 3	DMang3	1 %	100 %	1 %	85 %
65	Dual motor speed 1	DMspd1	0 %	100 %	1 %	10 %
66	Dual motor speed 2	DMspd2	0 %	100 %	1 %	5 %
67	Dual motor speed 3	DMspd3	0 %	100 %	1 %	30 %
68	Speed ratio (display Kph)	SpdRatio	1.0	999.9	0.1	120.0
69	Vehicle max. speed	VmaxSpd	0.0 KPH	999.9 KPH	0.1 KPH	20.0 KPH
70	Safe stop Torque (Torque mode only)	SfStTorque	0 %	100 %	1 %	20 %
71	Safe stop Ramp Time	SfStRmpTm	0.1 s	10.0 s	0.1 s	1.0 s
72	Belly switch speed	BellySpd	0 Hz	600 Hz	0.1 Hz	50 Hz
73	Belly switch time	BellyTim	0 s	3 s	0.1 s	0.5 s

Menú 2 – Estat

Cal. Ref.	Item	Calibrator text	Step size	Service log info & Notes		
1	Drive hours counter	Drive	0.1 Hrs	▶	shows key hours	
2	Current Fault code	CurFault	Fxx	◀	Show fault time	▶ Sub code
3	Battery Discharge Indicator	BDI	1 %	◀	Raw BDI value incl. state (WO & CO)	▶ BDI states (see "M2-3 BDI States table")
4	Controller Temperature	CtrlTmp	0.1 °C	◀	Min. temperature	▶ Max. temperature
5	Motor Temperature	MotTemp	0.1 °C	Shows N/A when disabled.		
				◀	Min. temperature	▶ Max. temperature
6	Drive State	DriveSta	--	See "M2-6 Drive and brake status table"		
7	Speed Limit	SpeedLim	--	See "M2-7 Speed limits table"		
8	Torque Limit	TrqLimit	--	See "M2-8 Torque limits table"		
9	Motor Limit	MotorLim	--	See "M2-9 Motor limits table"		
10	Battery Voltage	BatVolts	0.1 V			▶ Max. Voltage
11	Capacitor Voltage	CapVolts	0.1 V			▶ Max. Voltage
12	Battery current	I_batter	0.1 A			
13	Motor current	I_Motor	0.1 Arms	◀	Id Current	▶ Iq Current
				◀	Reactive Power	▶ Motor Power
14	Motor voltage	V_Motor	0.1 Vrms	◀	Reached maximum output voltage (VL)	
15	Stator speed	StatorSpd	0.1 Hz			
16	Rotor speed	RotorSpd	0.1 Hz			▶ RPM speed
17	Accelerator demand	Accel	0.1 %	◀	Steer pot demand	▶ Foot brake demand
18	Target demand	DemTrgt	0.1 %	+	CW	- CCW
19	Ramped demand	DemRampd	0.1 %	+	CW	- CCW
20	Speed limit %					
21	Drive torque limit	DrvTrqL	0.1 %			▶ Torque limit CW
22	Brake torque limit	BrkTrqL	0.1 %			▶ Torque limit CCW
23	Actual torque	TrqAct	0.1 %	◀	Actual torque in Nm	▶ Maximum torque in Nm
				+	CW	- CCW
24	Actual speed	SpeedAct	0.1 %	+	CW	- CCW
25	Actual Flux	FluxDem	0.1 %			▶ Actual Flux
26	Filtered capacitor voltage					
27	Vehicle Speed	Vehicle	1 Kph			



To reset the max and min temperatures logged data, press the + and – button at the same time when the controller is in neutral.

M2-3 BDI States table

BDI States	Description
0	Initializing
1	OK
2	BDI is getting low ⚠ Warning (WO)
3	BDI is too low ⚠ Cut out (CO)

M2-6 Drive and brake status table

Status	Description
NC	No Configuration
N	Neutral, not pulsing
FD	Forward drive
RD	Reverse drive
DB	Direction braking
NB	Neutral braking
FB	Foot braking
FB	Hill hold
HF	Forward restraint hill hold
HR	Reverse restraint hill hold

Shared Line Contactor Status table

Status	Description
ST	Starting up
RC	Ready to close Line Contactor
CS	Is closing line contactor
PS	Start pulsing
KF	Key fault is found
NK	Not known

M2-7 Speed limits table

Limit	Description
M5	Motor speed
SM	Speed limit forward or reverse
S1	Speed 1 limit
S2	Speed 2 limit
S3	Speed 3 limit
S4	Speed 4 limit
S5	Speed 5 limit
S6	Speed 6 limit
SI	Inching
SB	BDI speed limit
SH	Hand brake speed limit
SV	Control Via CAN HMI limit
CS	Controller over temperature limit
SS	Steering Pot Speed Limit

M2-8 Torque limits table

Limit	Description
CT	Controller temperature
MT	Motor temperature
PT	Performance table current limit
TC	Timed Current Limit
T1	$I^2t$ current limit step 1
T2	$I^2t$ current limit step 2
T3	$I^2t$ current limit step 3
HV	High Voltage limit
LV	Low Voltage limit
HB	Hand brake limit
S1	Advanced mode speed 1 active
S2	Advanced mode speed 2 active
BM	Battery current limit maximum
BR	Battery current limit regen


M2-9 Motor limits table

Limit	Description
TL	Torque Limit
SL	Speed Limit
TH	Not able to hold torque
SH	Not able to hold speed
FH	Not able to hold flux
IH	Not able to hold flux current
CH	Not able to hold circle limitation
HL	Not able to hold hexagon limit
OL	Circle limitation

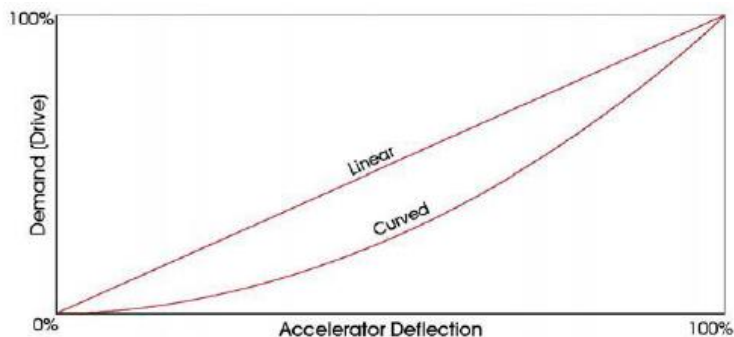
## Menú 3 – Configuració del controlador

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Options (defaults are in bold)	Range
1	Accel. Characteristic	Lin/Curv	0 = Accelerator linear 1 = Accelerator curved	0 – 1
2*	Control mode	Spd/Torq	0 = Speed mode 1 = Torque mode 2 = Torque mode & end of braking in speed mode 3 = Torque mode & end of braking and footbrake operation in speed mode	0 – 3
3	Proportional direction brake	Off /Bpro	0 = Fixed, 1 = Proportional	0 – 1
4	Hill hold	Off/HH/S	0 = Coast 1 = Hill hold 2 = Hill Hold with stop pulsing on flat ground	0 – 2
5*	I/O Pin 5 and 6	Sp/In/Ad	0 = Speed 1+2 1 = Inching Fwd/Rev 2 = Advanced Mode 3 = Speed Limit and Foot Brake Switch	0 – 3
6	I/O Pin 7	Spd3/Hbk	0 = Speed3 1 = Handbrake (If handbrake selected, set the required max. speed when handbrake applied at Speed 3)	0 – 1
7	Power steer trigger	PsF/FR/S	0 = FS1 1 = Fwd/Rev 2 = Seat switch 3 = FS1 and rotor speed 4 = FS1, Fwd/Rev, FootBrake in (AN or DIG)	0 – 4
8*	Vehicle type select	Ride/Wlk	0 = Ride-on 1 = Walkie 2 = Walkie (allows to drive slowly @ speed 3 speed with tiller switch open and only when speed 3 is active)	0 – 2
9*	Tiller Function	TillFunc	0 = Normal response 1 = fast response 2 = immediate response	0 – 2
10*	Belly switch disabled at zero speed	BellFunc	0 = Enabled 1 = Disabled	0-1
11	Display Status field	Of/D/V/K	0 = None 1 = Accelerator [%] 2 = Motor Velocity [RPM] 3 = Speed in Kph 4 = Steering position [%] 5 = Motor current [A] 6 = Battery current [A]	0 – 6
12*	Accelerator type	AccelTyp	0 = Normal accelerator, 1 = Wig-wag	0 – 1
13	Accelerator Damping Factor	AccelDamp	1 = No damping 2 to 120 multiplies the acceleration and deceleration delay, linear reduced to 1 at 75% demand.	1 - 120
14*	Single or Dual Motor	Si/DL/DR	0 = Single 1 = Dual Left 2 = Dual Right 3 = Single with Steer Pot limit	0 – 3
15*	Digital O/P 4 config	DO4Typ	0 = Remote LED, 1 = Drive OK 2 = Brake light	0 – 2
16*	Active low or high digital inputs	Actv L/H	0 = Active low digital inputs 1 = Active high digital inputs	0 – 1

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Options (defaults are in bold)	Range
17*	Accelerator supply wire off detection	SplyWrOf	0 = No supply wire off detection 1 = 0V wire off detection enabled 2 = 5V wire off detection enabled 3 = Both 0V and 5V wire off detection	0 - 3
18	Standby timer	StdByDly	Adjustable from 0 to 10 Minutes. Default is 0 (0=Off)	0 - 10
19	Drive output 2 Configuration	Drv2Cfg	0 = EM brake function 1 = motor temperature cooling enabled 2 = controller temperature cooling enabled 3 = both motor and controller temperature cooling enabled	0 - 3
20	Drive output 3 Configuration	Drv3Cfg	0 = Power Steer function 1 = motor temperature cooling enabled 2 = controller temperature cooling enabled 3 = both motor and controller temperature cooling enabled	0 - 3
21	Drive Output Motor Temp TH	MotTmpTh	Adjustable from 10 to 127 °C. Default is 70 °C	10 - 127 °C
22	Drive Output Controller Temp TH	CtrTmpTh	Adjustable from 10 to 100 °C. Default is 45 °C	10 - 100 °C
23	Line Contactor pull-in level	LCPlnLv	Adjustable from 50% to 100% Ubatt.to limit inrush current. Default is 90%	50-100%
24	Line Contactor pull-in time out	LCPlnTO	Line Contactor pull in time out. Default is 10sec.	0-12 sec
25	Drive torque during braking	DTrq@Brk	0 = no drive torque allowed during brake 1 = drive torque is allowed during brake	0 - 1
26	Line Contactor Coil pull-in Voltage	LCPlnVl	Adjustable from 7% to 100% Ubatt Default is 100%	7-100%
27	Line Contactor Coil Holding voltage	LCHoldVl	Adjustable from 7% to 100% Ubatt Default is 100%	7-100%
28	Digital output 2 pull-in voltage	DO2PlnV	Adjustable from 7% to 100% Ubatt Default is 100%	7-100%
29	Digital output 2 hold voltage	DO2HoldV	Adjustable from 7% to 100% Ubatt Default is 100%	7-100%
30	Digital output 3 pull-in voltage	DO3PlnV	Adjustable from 7% to 100% Ubatt Default is 100%	7-100%
31	Digital output 3 hold voltage	DO3HoldV	Adjustable from 7% to 100% Ubatt Default is 100%	7-100%
32	n/a	n/a		
33	Calibration Data Options	CalValue	Not active	---
34*	Loading Default	LoadDefc	0 = Don't load defaults 1 = Load defaults	0 - 1





(\*) Recycle the key switch to make changes active. (Also indicated on calibrator 'key')





## Menú 4 – Auto ajustament del motor PMS

Auto Tuning Parameter	Brief description
Number of motor poles	Set the number of poles
Sensor technology	Choose analogue Sin/Cos sensor or Hall sensors
Sensor encoder supply voltage	Choose 5 volt or 12 volt sensor supply
Reverse sensor reading	Try set to 1 if auto tuning diagnostics return an error 6
Reverse motor direction	Try set to 1 if auto tuning diagnostics return an error 6 and motor direction is reversed (or counter clock wise)
Nominal Battery Voltage	Set the nominal battery voltage
Nominal RMS motor current for AUTOTUNING	Set the nominal motor current FOR AUTOTUNING (suggested 1/3 of motor continuous current)
Maximum RMS motor current	Set the maximum required motor current
Back e.m.f. constant	Set the Ke voltage constant (motor rms voltage (phase to phase) per 1000rpm) (if Autotuning Type selected to 0)
Motor phase to phase inductance	Set the motor inductance in <u>micro henry (<math>\mu</math>H)</u> (if Autotuning Type selected to 0)
Maximum demagnetizing current	If field weakening is required, enter the maximum allowed motor current in field weakening. Set to 1 to disable. To high values will damage the motor magnets. Consult motor manufacture first!
Maximum desired motor frequency	Set the maximum required motor frequency


Cal. Ref.	Parameter (Param.)	Calibrator text	Min. adjust	Max. adjust	Step size	Default
1	Number of motor poles	Nmotpole	2	48	2	8
2	Sensor technology <sup>1)</sup>	SensTech	0	2	1	0
3	Sensor supply voltage	SenSupV	0	1	1	0
4	Number of sensor poles	NsnsPole	2	48	2	2
5	Reverse sensor reading	SpdRever	0	1	1	0
6	Reverse motor direction	MotorRev	0	1	1	0
7*	Battery Voltage	BattV AT	12.0 V	Units Umaxnom	1V	24V
8**	RMS motor current For tuning	I for AT	1 Arms	Units I <sub>max</sub> Arms	1 Arms	½ max current
9*	Maximum RMS motor current	I <sub>motmax</sub>	1 Arms	Units I <sub>max</sub> Arms	1 Arms	Max current
10*	Back e.m.f. constant (KeV)	K emf	0.0 V/krpm	144.0 V/krpm	0.1 V/krpm	10.0 V/krpm
11*	Motor phase to phase inductance	L ph-ph	0 µH	3200.0 µH	1 µH	120 µH
12*	Maximum demagnetizing (Field weakening) current	I demag	1 Arms (disabled)	600 Arms	1 Arms	1 Arms
13*	Maximum Motor Frequency	F <sub>motmax</sub>	0.0 Hz	700.0 Hz	0.1 Hz	100.0 Hz
14	Start Auto-tuning	AutoTune	0	1	1	0
15	Recalculation after changing one of the adjustments of this menu marked with one star *	Recalcul	0	1	1	0
16	Sin/Cos Sensor Delay Angle at 100 Hz	SensDel	0,0 deg	15,0 deg	0,1 deg	3,6 deg
17	Auto Tuning Type: 0= Standard auto tuning (position sensor tuning) 1= Full autotuning (position sensor + Inductance and Ke mesurment)	ATuneType	0	1	1	0
	(*) If a parameter with one star is changed, recalculation is required. Recalculation is performed after setting the recalculation parameter to 1 and recycling the key.					
	(7**) The nominal current for autotuning "I <sub>nom</sub> " have to be set not higher than 30-40% of motor continuous current. Higher values can overheat and or damage the motor.  (**) Changes to parameters with two stars are only considered when performing auto tuning after recycling the key !					

Note <sup>1)</sup>: sensorless options available on request. Refer to DMC.

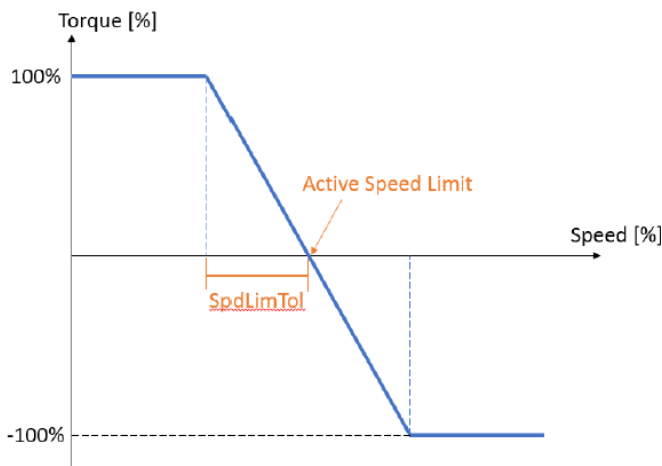
Error	Description
0	No errors in the Auto tuning Motor Module
1	The rated battery voltage set is not consistence with the measured one and auto tuning cannot be performed Solution: Set a proper number in "M4-7 Battery Voltage".
2	The battery is too low and auto tuning cannot be performed Solution: Check power connections (+ and B+), check battery state of charge, check line contactor wiring.
3	An overcurrent is detected (maybe short circuit or wrong wiring)
4	No current is flowing in the motor: no or wrong motor connection.
5	No Sensor feedback reading: it means no sensor is connected or that the motor is locked Solution: check for the sensor supply voltage setting being correct, check sensor wiring and check if the motor is free to spin.
6	Error in speed measurement (only for Sin/Cos): direction measured is not consistent with motor direction Solution: if motor spins in forward direction during autotuning change "M4-5 Reverse sensor reading". if motor spins in reverse direction during autotuning change "M4-6 Reverse motor direction".
7	Wrong number of poles set in "M4-1 Number of motor poles" (only for Sin/Cos)
8	Unable to finish calculation (rotor resistance too low or too high)
9	Unable to finish motor measurements Probably causes: 1) Motor is loaded: remove mechanical load 2) Nominal current it is set to low: increase "M4-8RMS motor current For tuning" 3) Motor inductance is too low
10	Sine/Cosine signal is not detected: check wiring or Sensor Supply "M4-3 Sensor supply voltage".
11	Sine signal is not in the same range as the cosine signal: check wiring and sensor
12	Cosine signal is not in the same range as the sine signal: check wiring and sensor
13	Sine/Cosine signals are in range but very different: Check sensor mechanical alignment and wiring.
14	One of the three Hall sensor signal is missing.
15	Two of the three Hall sensor signals are missing.
16	All hall sensors signals are missing
17	Hall sensor configuration incorrect. Probably causes : 1) the motor is loaded 2) sensors wrong wiring 3) Nominal current is set too low: increase "M4-8RMS motor current For tuning"
18	Unable to calculate the PI gains: Perform auto tuning again starting from default values (if Autotune type 1 has been chosen), Check Ke and Lph-ph values.
19	Motor calculated maximum speed exceeds 500Hz: Refer to DMC
20	Unable to calculate limit curves. Check motor parameters (Fmotmax, I demag) in the auto tuning menu
21	Unable to Measure Ke (e.m.f. constant). Check if motor is loaded or locked. If not reduce the speed control PI gains in "Motor Setup" Menu.
22	An unknown error occurred: Refer to DMC

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text
9	"M4-9 Maximum RMS motor current"	Imotmax*
10	"M4-10 Back-EMF constant (KeV)"	K emf*
11	"M4-11 Motor phase to phase inductance"	L ph-ph *
12	"M4-12 Maximum demagnetizing (Field weakening) current"	I demag*
13	"M4-13 Maximum Motor Frequency"	Fmotmax*

Menú 5 – Configuració motor PMS

	<p>The PMS motor setup menu defines the motor characteristics for the controller.                  Parameters from 10 to 16 are calculated by the auto tuning algorithm or recalculation process.                  If it is necessary to tune these parameters, please consult DMC first.                  Mistakes in the motor setup tables can cause serious accidents and/or defective controllers and/or defective motors.</p>
---	---

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Min.	Max.	Step size	Default
1	Proportional gain speed controller	Kp Spd	0.1	63.9	0.1	10.0
2	Integral gain speed controller	Ki Spd	0.1	1999.9	0.1	10.0
3	Enable double PI settings for speed controller	SpdPlx2	0	1	1	1
4	Double PI speed threshold	SpdPITH	0 %	50 %	1%	15 %
5	Proportional gain speed controller below threshold	KpSpdLow	0.1	63.9	0.1	5.0
6	Integral gain speed controller below threshold	KiSpdLow	0.1	1999.9	0.1	10.0
7	Transition time between the two PI settings for the speed controller	TransTim	0.01 s	5.00 s	0.01 s	0.1 s
8	Speed limit tolerance	SpLimTol	0%	40%	1%	0
9	Speed limit action ramp time	SpLimTim	0.01 s	8 s	0.01s	0.1
10	Extra field weakening level referred to the ideal flux at maximum speed	FWextra	0 %	40 %	1%	0%
11	Speed Threshold for beginning field weakening	F_FW TH	20 %	100 %	1 %	100 %
12	Torque Reduction Map in field weakening range point 1	TReduc1	10%	100%	1%	90%
13	Torque Reduction Map in field weakening range point 2	TReduc2	10%	100%	1%	80%
14	Torque Reduction Map in field weakening range point 3	TReduc3	10%	100%	1%	70%
15	Torque Reduction Map in field weakening range point 4	TReduc4	5%	100%	1%	60%
16	Torque Reduction Map in field weakening range point 5	TReduc5	5%	100%	1%	50%
17	Capacitor Voltage ramp Time	CapVTime	0.1 s	20.0 S	0.1 S	0.1 S
18	Voltage Limiter Filter Frequency	FVlimFlt	0.1 Hz	100.0 Hz	0.1 Hz	100.0 Hz



Menú 6 – Configuració del motor avançada

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Min.	Max.	Step size	Default
1	Decouple Iq and Id controllers	Decouple	0	1	1	0
2	Enable software PWM algorithm delay compensation	PWMDelay	0	1	1	1
3	Limit torque controller during Voltage limiting	VoltSat	0	1	1	0
4	Speed Control Filter	SCFilter	0	1	1	1
5	Enable Voltage Limiter	VoltCtrl	0	1	1	0
6	Speed filter cut-off frequency	Fspdfilt	4 Hz	400 Hz	1 Hz	80 Hz
7	Percentage of correction for inductance value	DecoLeak	0 %	180 %	1 %	100 %
8	Back EMF correction factor	BEMFCorr	0 %	180 %	1 %	100 %
9	Speed estimator rate	Obs. Rate	2%	65%	1%	30%
10	Resistance compensation gain	R. Gain	70%	100%	1%	70%
11	Current compensation gain	Curr. Gain	0%	60%	1%	28%
12	Start Torque	StartTrq	0%	100%	1%	40%
13	Start Current	StartCur	0%	50%	1%	30%
14	Maximum radius voltage	Vmodmax	90%	102%	1%	102%


Menú 7 – Configuració de límits

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Min.	Max.	Step size	Default
1	Motor Temp Sensor Type (0 = KTY84-130 1 = Pt1000 1000 Ohm @0°C 2 = Pt1000 1000 Ohm @25°C )	MtempTyp	0	2	1	0
2	Motor Temp. Cutback start	TempStrt	0 °C	151 °C (disables)	1 °C	140 °C
3	I <sup>2</sup> t Nominal Motor Current	NomCurr (I2tinom)	0 Arms	Unit max.	1 Arms	0 Arms
4	I <sup>2</sup> t Start Motor Temperature	I2tTemp	0 °C	100 °C	1 °C	0 °C
5	I <sup>2</sup> t Time	I2tTime	0 s (disables)	2000 s	1 s	0 s (disabled)
6	I <sup>2</sup> t Cutback1	I2tCutB1	0 %	100 %	1 %	100 %
7	I <sup>2</sup> t Cutback2	I2tCutB2	0 %	100 %	1 %	100 %
8	I <sup>2</sup> t Cutback3	I2tCutB3	0 %	100 %	1 %	100 %
9	Performance Table Speed 1	PTSpd1	0.0 % (disables)	100.0 %	0.1 %	50.0 %
10	Performance Table Speed 2	PTSpd2	0.0 %	100.0 %	0.1 %	70.0 %
11	Performance Table Speed 3	PTSpd3	0.0 %	100.0 %	0.1 %	100.0 %
12	Performance Table Cutback 1	PTCutBk1	0 %	100 %	1 %	100 %
13	Performance Table Cutback 2	PTCutBk2	0 %	100 %	1 %	100 %
14	Performance Table Cutback 3	PTCutBk3	0 %	100 %	1 %	100 %
15	Low Voltage Cut Back start threshold	LVCBstrt	16.0 V	Unit max.	0.1 V	20.0 V
16	Low voltage cut back end threshold	LVCBend	16.0 V	Unit max.	0.1 V	16.0 V
17	Low voltage error threshold	LVerror	14.0 V	Unit max.	0.1 V	14.0 V
48 V units						
18	High Voltage Cut Back start threshold	HVCBstrt	24.0 V	67.5 V	0.1 V	60.0 V
19	High voltage cut back end threshold	HVCBend	24.0 V	67.5 V	0.1 V	67.5 V
20	High voltage error threshold	HVerror	24.0 V	70.0 V	0.1 V	70.0 V
96 V units						
18	High Voltage Cut Back start threshold	HVCBstrt	24.0 V	138.5 V	0.1 V	130.0 V
19	High voltage cut back end threshold	HVCBend	24.0 V	138.5 V	0.1 V	138.5 V
20	High voltage error threshold	HVerror	24.0 V	140.0 V	0.1 V	140.0 V
Generic						
21	Absolute maximum motor speed	AbsMaxSp	0.0 Hz	700.0 Hz	0.1 Hz	200.0 Hz
22	Torque Threshold for Stall Protection	TrqTHLim	1.0%	100.0%	0.1%	100.0%
23	Stall protection Time	StallTim	0.0 sec	120.0 sec	0.1 sec	60.0 sec
24	n/a					
25	n/a					
26	Timed Current Limit Threshold Timer	IthTime	0 sec	60 sec	1 sec	0 sec
27	Timed Current Limit Current Threshold	CurrTh	10 A	Unit max.	1A	Unit max.
28	Timed Current Limit Lower Maximum Current	ImaxLow	10 A	Unit max.	1A	Unit max.

Menú 8 – BDI indicador de descàrrega de la bateria

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Min. adjust	Max. adjust	Step size	Default 48V	Default 96V
1	Battery Current Limit Via Can type	BlcCanMsg	0	3	1	0	0
2	Nominal battery voltage	NomBatV	12.0 V	Uabsmax	1 V	48 V	96 V
3	BDI reset level	BDIreset	12.0 V	Uabsmax	0.1 V	50.2 V	100.3 V
4	BDI empty level	BDIempty	12.0 V	Uabsmax	0.1 V	38.9 V	77.8 V
5	BDI warning level	BDIwarn	0 %	99 %	1 %	20 %	20 %
6	BDI cut out level	BDIcut	0 %	99 %	1 %	0 %	0 %
7	BDI speed limit (traction only)	BDIspeed	0.0 Hz	400.0 Hz	0.1 Hz	100.0 Hz	100.0 Hz
8	Drive Battery Current Limit (max. value)	IBattMax	0.0 A	700.0 A	0.1 A	700.0 A	700.0 A
9	Regen Battery Current Limit	IBattReg	0.0 A	700.0 A	0.1 A	700.0 A	700.0 A

Menú 9 – Configuració CAN BUS

Cal. Ref.	Parameter	Calibrator text	Options (defaults are in bold)	Default
1	CAN Node Number	CAN node	Node number 0 to 15	0
2	CAN bit rate	CANbitRt	CAN bus speed: 0 = 100kbps 1 = 125kbps 2 = 250kbps	0
3	Transmit/Receive CAN messages	CANMsgs	0= DC & DS 1 = DC & DS & MS 2 = DC & DS & CS 3 = DC & DS & CS & MS 4= no CAN message 5= DS only 6= MS only 7= DS & MS 8= CS only 9= CS & DS 10= CS & MS 11= CS & MS & DS	(Receive & Transmit) (Receive & Transmit) (Receive & Transmit) (Receive & Transmit) (Transmit only) (Transmit only) (Transmit only) (Transmit only) (Transmit only) (Transmit only)
	Used short descriptions: DC : drive command (receive) DS : drive status (transmit) MS : Motor status (transmit) CS : controller status (transmit)		4	
4	Shared Line Contactor	ShareLC	0 = No shared line contactor 1 = Shared line contactor 2 = Shared line contactor CAN HMI master 3 = Shared line contactor CAN HMI slave	0
5	Last Node Sharing Line Contactor	LstNode	Node number 1 to 15	1
6	Can Control Type (only Traction Software)	CANCTyp	0 Speed Limit Via Can Disabled, Safe Stop 1 Disabled; 1 Speed Limit Via Can Enabled, Safe Stop Disabled; 2 Speed Limit Via Can Disabled, Safe Stop Enabled; 3 Speed Limit Via Can Enabled, Safe Stop Enabled;	0
7	CAN motor status transmit rate	CAN_MS	100 to 1000ms	100ms
8	CAN controller status transmit rate	CAN_CS	100 to 1000ms	1000ms
9	CAN drive status transmit rate	CAN_DS	100 to 1000ms	100ms
10	CAN controller timeout timer	CAN_TO	100 to 500ms	150ms
11	CAN node ID Via digital Inputs	CAN_DIG	0 standard node ID 1 Can node identification via DigiInp 1,2,3 and 5 (active only if "CANMsgs" < 4)	0
 Recycle the key switch to make changes active. (Also indicated on calibrator 'key')				

## Bateria

SAMSUNG SDI Co., Ltd.  
Date: January 1, 2018  
MODEL INR18650-25R

Revision no.: 00



### Safety Data Sheet

#### 1. Product and Company Identification

**Important Note:** As a solid, manufactured article, exposure to hazardous ingredients is not expected with normal use. This battery is an article pursuant to 29 CFR 1910.1200 and, as such, is not subject to the OSHA Hazard Communication Standard requirement. The information contained in this Safety Data Sheet contains valuable information critical to the safe handling and proper use of the product. This SDS should be retained and available for employees and other users of this product.

#### Commercial product name

INR18650-25R

#### Use of the substance/preparation

Lithium-ion batteries

#### Synonyms

Lithium-ion Cell, Lithium-ion Pack, Lithium-ion Battery, Li-Ion Cell, Li-Ion Pack, Li-Ion Battery

#### Manufacturer

SAMSUNG SDI Co., Ltd.

#### Address

HQ: 150-20, Gongse-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, Korea

#### Company/undertaking identification

Emergency Contact(Chemtrec)  
1-800-424-9300: US and Canada / 1-703-527-3887: International

#### Further Information

Battery-System: Lithium-ion (Li-ion)

Nominal Voltage: 3.6 V

Rated Capacity: 2.5 Ah

Wh rating: 9.0 Wh

Anode (negative electrode): based on intercalation graphite

Cathode (positive electrode): based on lithiated metal oxide (Cobalt, Nickel, Manganese)

#### Remark:

The information and recommendations set forth are made in good faith and believed to be accurate as of the date of preparation. SAMSUNG SDI Co., Ltd. makes no warranty, expressed or implied, with respect to this information and disclaims all liabilities from reliance on it.

# Pedal

Part No: FZ3-115-3212

Pin Location	Description	Color
A	Power Input, Vcc	Red
B	Pedal Signal Output, Vs	Green
C	Ground (Signal)	Black
D	Switch Common	Yellow
E	FRX/VS3,NO	Blue

**Fig. 1 Circuit Diagram**

**Fig. 2 Signal Output**

**Fig. 3 Spring Force**

**REVISION HISTORY**

REV	DESCRIPTION	DATE	DR	RE	AP												
1	General Layout New - Coaxial Sensing Technology. This drawing is satisfied with FMSV5124. International Patent Pending.																
2	Mechanical Conditions - A static pedal force is applied at a point of 150mm from the pedal pivot axis and perpendicular to the pedal surface. (Initial Load: 0.5kgf(MD), Full Throttle: 3.5kgf(MAX)) - End-Break force: 160kgf(kg) will not damage any pedal part.																
3	Electrical Characteristics 3.1 Environmental Conditions: Operating Temperature: -40°C ~ +85°C Storage Temperature: -40°C ~ +107°C 3.2 Electrical Characteristics: 3.2.1 Type of sensing element 3.2.1.1 Input Voltage(Vcc): 12Vdc ±2% (10-32V) 3.2.1.2 Operation Current(Iop): 15mA(Normal), 15mA(Max) / Channel 3.2.1.3 Reverse Polarity: Withstand 10min 3.2.1.4 Electrical Travel: See Fig. 2 3.2.1.5 Independent Linearity: ±2% 3.2.1.6 Diagnose Zone																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Limit zone</th> <th>Signal to Zero</th> <th>Signal to Out-Std</th> <th>Sensor Dead</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Upper</td> <td>-</td> <td>40V ~ 60V</td> <td>Over60V</td> </tr> <tr> <td>Lower</td> <td>Under 3.7V</td> <td>3.6V ~ 5.5V</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>						Limit zone	Signal to Zero	Signal to Out-Std	Sensor Dead	Upper	-	40V ~ 60V	Over60V	Lower	Under 3.7V	3.6V ~ 5.5V	-
Limit zone	Signal to Zero	Signal to Out-Std	Sensor Dead														
Upper	-	40V ~ 60V	Over60V														
Lower	Under 3.7V	3.6V ~ 5.5V	-														
3.2.1.7 Signal Load: 10kOhms, C=47nF Tested 3.2.2 Type of Switch(VS): MOSFET switch 3.2.2.1 Switch Contact Load Current(Ic): Max 300mA 3.2.2.2 Switch Operating Current(Io): Typ. 7.5mA Max 25mA 3.2.2.3 Switch Resistance(Ron): <math>35\Omega</math> at Switch On 3.2.2.4 Switch Polarity: No polarity 3.2.2.5 Switch Load Voltage: 1V, 12V, 24V, 48V, 72V 3.2.2.6 Switch Position: Switch Position shall be discussed at PO and fixed at factory before delivery. See Fig. 2 4. Mechanical Specifications 4.1 Mechanical Travel: 17.5" 5. Electrical Connection AMP force 174264-2 (Cap) 6. Material Pedal Foot Plate: PA66-GF30%+Anti-Static Pedal Bottom Plate: Aluminum (ADC12) Cable: AEMX or AVXZ (0.3mm) 7. Marking Sensor serial number and pedal production number shall be indicated and recorded before dispatch at factory. 8. Durability Subject to over 10million cycles between idle and full throttle positions at a rate of approx. 100 cycles per minute. Any wear observed, e.g. on the mechanical stops checked to be in compliance with the initial condition values. 9. Environment Test																	

Item	Test Method	Decision Standard
Vibration Test	Subject to broadband random vibration between 20 and 2000Hz for 30mins at all 3 axes	Normal Operation
Shock Test	After Exposed to Acceleration 20g (1000ft/s²) for 10ms	Normal Operation
Impact Test	Subject to drop test onto a smooth surface from a height of one meter a total of 5 times	Normal Operation
High voltage Test	100% Signal After Exposed to 30Vdc for 30min	Normal Operation
Temp. Test	After Exposed to -40°C ~ 85°C (100 cycles)	Normal Operation
Humidity Test	After Exposed to 32°C ~ 70°C (50%)	Normal Operation
Salt Fog Test	After Exposed to Salt Fog W/ Filter (5% Z37F1)	Normal Operation
Chemical Test	Exposed to 3 neutral dyes in each of the test fluids, followed by a 3 minutes air dry	Normal Operation
ESD Test	Tested as recommended with IEC 61000-4-2 type 1	25kV(Air Discharge)
EMC Test	As per IEC 11452-2 (2004E)	100V/m