

Treball Fi de Grau
Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Disseny d'un *battery pack* per una motocicleta
de competició**

MEMÒRIA

**Autor:
Director
Convocatòria**

Sergi Parera Sánchez
Dr. Emilio Hernández Chiva
Juny 2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

El TFG titulat Disseny d'un *battery pack* per una motocicleta de competició forma part d'un projecte realitzat conjuntament amb l'equip EUETIB ePowered Racing. Aquest grup de treball té com objectiu presentar una motocicleta elèctrica a la quarta edició de la competició MotoStudent.

El present projecte consisteix en dissenyar la bateria més adient per a la motocicleta per a una següent construcció i integració amb els altres components de la motocicleta.

La metodologia emprada per a aconseguir-ho ha consistit en disposar d'un model en tres dimensions del xassís el qual es pogués analitzar amb el programa SolidWorks. A partir d'aquest model s'han anat estudiant diferents dissenys de bateries els quals anaven modificant-se segons variava el material disponible per a confeccionar-lo. El primer disseny estava constituït de 624 cel·les cilíndriques de format 18650 i ha evolucionat fins a utilitzar 154 cel·les *pouch*. Per a poder subministrar prou potència i durant el temps suficient, la bateria havia de proporcionar 96V de tensió nominal i tenir una capacitat de 60Ah per a poder finalitzar la prova més llarga de la competició, una cursa. Per a poder mantenir les cel·les fixes s'han dissenyat uns *holders* especials per a subjectar-les. Aquests *holders* s'han dissenyat de manera que faciliten la ventilació dins l'acumulador i així evitar possibles problemes de sobreescalfaments.

Les conclusions principals del projecte han estat que el disseny d'un *battery pack* per una motocicleta per la competició MotoStudent és més complicat del que aparentment pot semblar degut a l'exigent normativa de fabricació imposada. Tenir pocs recursos financers implica molta feina per part dels integrants de l'equip per a trobar solucions òptimes. De tota manera, al tractar-se d'un projecte real ha permès seguir totes les fases de qualsevol projecte d'enginyeria industrial.

El TFG ha assolit l'objectiu de dissenyar la bateria, tot i que seguirà amb el procés de fabricació i instal·lació a la motocicleta fins a l'octubre 2016, data en què té lloc la competició.

Índex

Resum	2
Introducció.....	5
Objectius.....	6
1. Què és el MotoStudent?	7
1.1. Fases de la competició	7
1.2. Puntuació	8
2. Introducció a les bateries.....	9
2.1. Introducció i història	9
2.2. Teoria	10
2.3. Tipus de químiques: avantatges i inconvenients.....	10
2.4. Geometries disponibles	15
2.5. Química seleccionada	17
2.6. Precaucions i riscos	18
2.6.1. <i>Temperatura</i>	19
2.6.2. <i>Voltatge</i>	20
2.7. Elements de seguretat	21
2.7.1. <i>BMS</i>	21
2.7.2. <i>Contactador</i>	24
2.7.3. <i>Fusible</i>	24
2.8. Connexions sèrie i paral·lel	24
2.8.1. <i>Connexió sèrie</i>	25
2.8.2. <i>Connexió paral·lel</i>	25
2.8.3. <i>Connexió sèrie-paral·lel</i>	26
3. Requisits i evolució del <i>battery pack</i>	28
3.1. Requisits i característiques	28

3.2.	Evolució	29
3.2.1.	<i>Primer model (cel·les cilíndriques)</i>	29
3.2.2.	<i>Segon model (cel·les cilíndriques)</i>	31
3.2.3.	<i>Tercer model (cel·les pouch)</i>	32
3.2.4.	<i>Quart model (cel·les pouch)</i>	34
3.2.5.	<i>Cinquè model (cel·les pouch)</i>	36
3.2.6.	<i>Model definitiu</i>	38
4.	Impacte ambiental	41
4.1.	Context	41
4.1.1.	<i>Origen de l'energia a Espanya 2015</i>	43
5.	Planificació	44
6.	Pressupost.....	45
7.	Línies futures.....	46
7.1.	Edició actual	46
7.2.	Edicions futures.....	46
	Conclusions.....	47
	Bibliografia.....	49

Introducció

El present treball consisteix en dissenyar un *battery pack* que serà utilitzat en la motocicleta de l'equip EUETIB ePowered Racing amb l'objectiu de presentar-la a la competició MotoStudent.

Els requeriments i condicionants d'aquest projecte són fruit del treball en equip i les reunions fetes amb el professor Emilio Hernández i els membres de l'equip de l'EUETIB.

La documentació permet justificar com s'ha estructurat el *battery pack* i com ha anat variant el disseny des d'un inici. Es veuran altres components imprescindibles per a la seguretat i la gestió d'energia de la bateria, a part de les cel·les. Com que les bateries són delicades i no poden treballar a temperatures més altes de 60°C es farà una anàlisi de temperatures per simular-la i poder buscar diferents solucions abans de deixar el *battery pack* tancat.

Objectius

Aquest treball sorgeix de la necessitat de dissenyar un *battery pack* per la motocicleta de 13kw de potència de l'equip EUETIB e-Powered Racing. L'objectiu de l'equip és participar a la IV edició de la competició MotoStudent.

Primer es veurà sobre què tracta la competició, així com les limitacions imposades a l'hora de dissenyar la motocicleta; els testos que ha de passar el sistema d'emmagatzemament d'energia abans de ser posada en marxa.

Donat que la motocicleta a produir ha de ser elèctrica, el sistema d'emmagatzemament d'energia està format per una bateria que alhora està constituïda per cel·les connectades d'una forma determinada a fi de proporcionar el voltatge i la capacitat desitjades. S'estudiaran els diferents tipus de bateries que existeixen, els seus avantatges i inconvenients, i les precaucions a tenir en compte per a allargar la seva vida i evitar que s'espallin.

Per a poder obtenir les millors prestacions, primer s'abordaran els diferents tipus de cel·les que hi ha actualment en el mercat. Tenint en compte els requisits necessaris es seleccionaran les més indicades per a la funció que han de complir. Tot això s'haurà de combinar amb l'altre objectiu tant del treball com de l'equip, que és reduir els costos al màxim. De manera que en el cas de trobar patrocinadors que facilitin el material, s'utilitzarà per a la fabricació de la motocicleta, malgrat no ser el més adient, sempre que compleixi les especificacions requerides.

L'objectiu final del treball és dissenyar una bateria amb les cel·les ben estructurades per un màxim aprofitament de l'espai. La col·locació de la bateria dins el xassís és un punt important ja que representa gran part del pes de la motocicleta i una incorrecta posició pot significar un mal control de la motocicleta repercutint en una motocicleta més lenta i per tant menys puntuació en la competició.

Per assegurar el compliment d'aquests objectius s'utilitzaran eines de modelització 3D de manera que es podrà simular l'adaptació de la bateria dins la motocicleta abans de fabricar un prototip.

1. Què és el MotoStudent?

El MotoStudent és una competició internacional entre estudiants de diferents universitats els quals estan organitzats per equips. La competició és promoguda per Moto Engineering Fundation (MEF) i pel TechnoPark MotorLand. L'objectiu és dissenyar, fabricar i avaluar un prototip de moto de carreres (tipus Moto3).

Dins de cada equip hi ha un alumne delegat que s'encarrega de mantenir a tot l'equip organitzat i normalment és el nexa d'unió amb la competició. Després, els dotze alumnes integrants de l'equip es divideixen en especialitzacions (mecànics, elèctrics, purchasing).

La competició es divideix en dos grups en funció del sistema de propulsió, ja sigui per motor d'explosió o per motor elèctric.

- Gasolina: Motor de 250cc de 4 temps (Motor Honda CBR 250R)
- Elèctrica: Motor de 13KW (Motor Heinzmann PMS 150 – RLS)

1.1. Fases de la competició

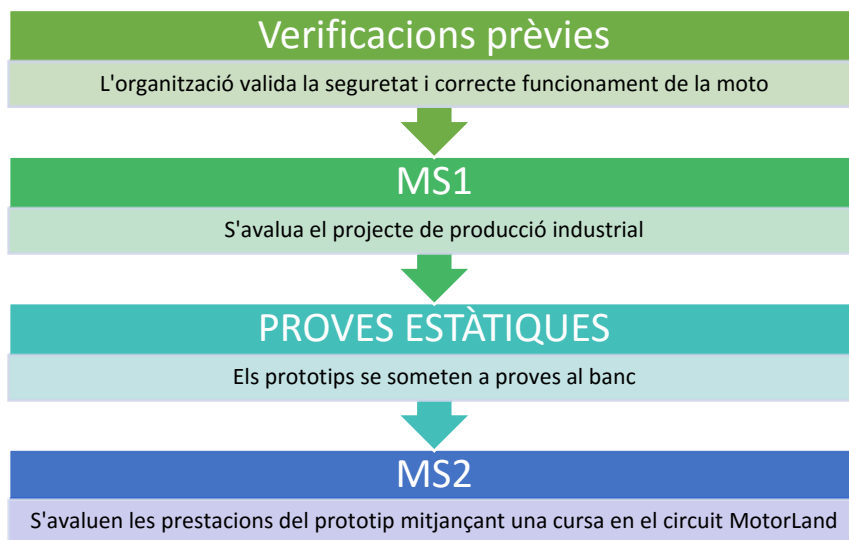


Figura 1: Ordre de les fases durant la competició

1.2. Puntuació

La puntuació es divideix en dues fases:

MS1: avalua les fases de Disseny i anàlisi, Innovació i Industrialització. La màxima puntuació assolible és de 500 punts. Atorgant un premi al guanyador valorat amb 6000€.

MS2: avalua les fases de Proves dinàmiques i la Cursa. La màxima puntuació assolible és de 500 punts i també s'atorga un premi al guanyador d'aquesta fase valorat amb 6000€.

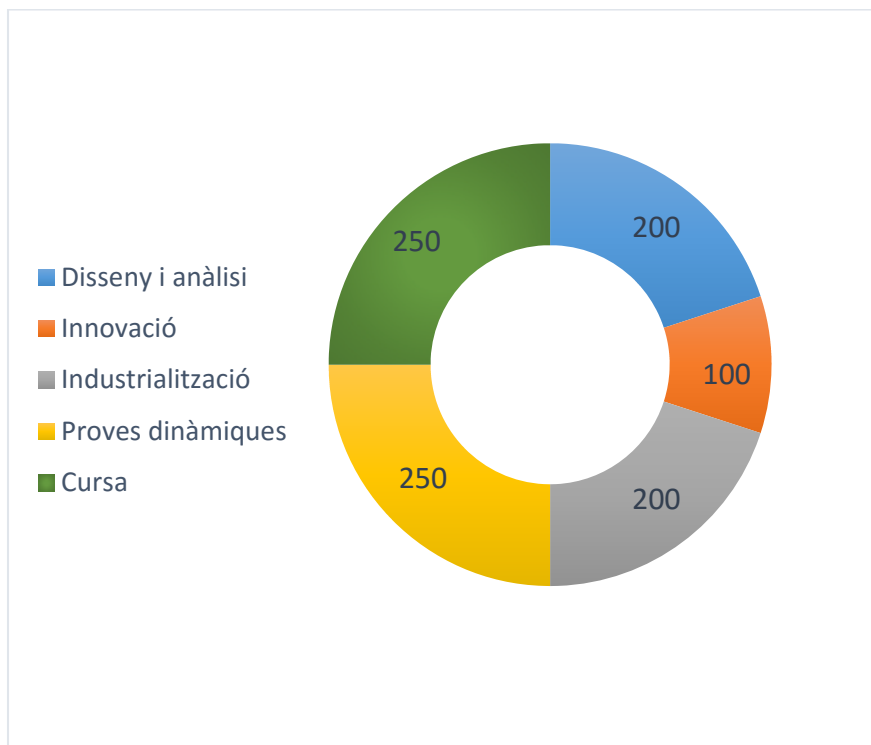


Figura 2: Puntuacions associades a cada fase

2. Introducció a les bateries

2.1. Introducció i història

Les bateries són elements acumuladors d'energia. No es pot parlar de que siguin acumuladors d'energia elèctrica ja que realment l'acumulen en forma d'energia química. Posteriorment s'explicarà quines reaccions químiques tenen lloc a l'interior de cada cel·la per a poder transformar aquesta energia química en electricitat. Per a poder entendre la història de la bateria, cal saber que una bateria està constituïda per dos elèctrodes i un electròlit. Els elèctrodes són coneguts com els borns de la bateria i l'electròlit és la substància que hi ha a l'interior de la cel·la i que permet que la reacció química tingui lloc. En una pila, l'elèctrode de menys potencial és anomenat ànode i el de potencial major, càtode.

Durant els inicis del segle XIX el científic Alessandro Volta va dissenyar un dels primers elements d'on es podia extreure electricitat de forma contínua, anomenada Pila voltaica o cel·la galvànica. Utilitzant discs de coure i de zinc separats per una tela humida amb una solució àcida creava una diferència de potencial entre les dues plaques gràcies a les reaccions redox i el seu intercanvi d'electrons.

Tot i això, no va ser fins al 1859 que Gastón Planté va inventar la pila de àcid-plom, la primera recarregable de la història. Van haver de passar 20 anys, fins el 1879, quan l'ús de l'electricitat s'havia estès, perquè fos acceptada i posada en fabricació poc després. Aquesta bateria té plaques de plom com a elèctrodes i àcid sulfúric com a electròlit. La diferència entre la placa de plom, que actua com a ànode, de la que actua com a càtode, és que l'ànode està recobert per diòxid de plom (PbO_2) i el càtode està fet de plom esponjós.

No va ser fins a finals del segle XX quan va aparèixer el liti com a una alternativa més exitosa i amb major usabilitat que el plom. Gràcies a la seva menor densitat era idoni per a petits dispositius electrònics. Va ser el científic John B. Goodenough qui va començar a investigar el liti, com a alternativa, juntament amb estudiants del doctorat. L'any 1979 van produir una de les primeres bateries de liti utilitzant òxid de cobalt de liti per al càtode. El 1985 el japonès Akira Yoshino va utilitzar un solvent orgànic en lloc

d'aigua i va utilitzar carboni per a l'ànode, permetent que la bateria arribés als 4 volts. Al cap de sis anys, Sony, companyia per la qual treballava Yoshino, va començar a comercialitzar les primeres bateries d'ions de liti recarregable.

2.2. Teoria

Com s'ha comentat anteriorment, l'electricitat proporcionada per la bateria prové d'una reacció química de reducció/oxidació (REDOX) a l'interior de la cel·la.

Quan dos elèctrodes se submergeixen dins l'electròlit apropiat, l'excés d'electrons apareix a l'elèctrode negatiu (ànode) i una diferència a l'altre (càtode). La diferència de potencial elèctric entre els dos elèctrodes origina el flux de corrent elèctric en un circuit extern que connecta els dos elèctrodes. Per tant, a l'interior de la cel·la el flux d'electrons es produeix de negatiu a positiu. En tancar el circuit extern es donarà el procés de descàrrega i durant una aplicació externa de corrent es carregarà la bateria gràcies a la naturalesa reversible de la reacció química REDOX.

En el cas de les bateries de liti, l'ànode normalment és de carboni (grafit) i el càtode d'òxid de liti metàl·lic. L'electròlit està compost d'ions de liti.

2.3. Tipus de químiques: avantatges i inconvenients

Coneixent quina és la història i el principi de funcionament de les bateries, a continuació s'analitzaran els diferents tipus de químiques que existeixen actualment i les seves propietats.

- Bateries d'àcid plom

Avantatges:

- Econòmica degut al seu ús global.
- Eficiència del 82%.
- Robustes i fiables sempre i quan s'utilitzi correctament.
- Capacitat de descàrrega elevada.
- Baixa auto-descàrrega.

Inconvenients:

- Baixa densitat energètica degut a l'alta densitat del plom.
- Conté plom, molt tòxic i perjudicial pel medi ambient.
- No permet massa cicles de càrrega i descàrrega complets.

- Bateries níquel-cadmi

Avantatges:

- Alt nombre de cicles de càrrega i descàrrega.
- Fiables i robustes dins el seu límit de temperatures (-40°C – 60°C).
- Resistència interna increïblement baixa.
- Mantenen la tensió constant durant gairebé tot el cicle de càrrega i descàrrega.

Inconvenients:

- La tensió proporcionada és de només 1,2V.
- Degut a la baixa resistència interna no es poden carregar a tensió constant degut a què es generen corrents molt alts internament i l'escalfament de la cel·la.
- Efecte memòria elevat.
- Materials tòxics.

- Bateries níquel-hidrur metàl·lic

Avantatges:

- Capacitat més alta que en les del níquel-cadmi gràcies a una petita reducció de la seva densitat.
- L'absència de cadmi fa que no sigui tan tòxica.

Inconvenients:

- La tensió proporcionada és de només 1,2V.
- Degut a la baixa resistència interna no es poden carregar a tensió constant ja que es generen corrents molt alts internament que provoquen l'escalfament de la cel·la.
- Efecte memòria elevat.
- Baix nombre de cicles de càrrega i descàrrega.

- Bateries d'Ió de liti

Avantatges:

- Elevada densitat energètica.
- Poc pes.
- Voltatge nominal elevat (3,7V).
- Poca auto-descàrrega.
- Sense efecte memòria.

Inconvenients:

- Vida útil limitada entre 300-1000 cicles o uns 3 anys.
- Fabricació costosa.
- Pitjor capacitat en ambients freds que les altres químiques.
- Vulnerable a sobrecàrregues i sobredescàrregues. Necessita electrònica per controlar-ho (BMS).
- Inflamable.

- Bateries de liti polímer

Les característiques d'aquesta bateria són molt similars a l'anterior ja que l'única diferència resideix en l'electròlit que ara està contingut en un polímer de manera que és més segur.

Avantatges:

- Permet geometries molt fines.
- Més segur.
- Més fàcil de fabricar.

Inconvenients:

- Vida útil limitada entre 300-1000 cicles o uns 3 anys.
- Fabricació costosa.
- Pitjor capacitat en ambients freds que les altres químiques.
- Vulnerable a sobrecàrregues i sobredescàrregues. Necessita electrònica per controlar-ho (BMS).
- Inflamable.

- Bateries Zebra

També anomenades de sodi-clorur d'alumini (NaAlCl_4). Són un tipus de bateries ideals per automòbils ja que poden treballar a voltatges alts (600V) i a temperatures altes (250°C).

Avantatges:

- Pot treballar a voltatges elevats.
- Treballa a temperatures elevades.
- Capacitat alta.

Inconvenients:

- Necessitat d'escalfar la bateria prèviament per a poder treballar al rang de temperatures desitjat donat que per sota de 157°C l'electròlit es troba en estat sòlid.
- Fabricació cara.
- Consumeix un 14% de la capacitat al dia per mantenir la temperatura.

Aquest tipus de bateria el descartarem directament degut a la normativa de no poder muntar cel·les tèrmiques.

Analitzats els tipus de cel·la més utilitzats actualment, a continuació es comparen les principals propietats físiques de cadascuna.

Taula 1: Taula resum diferents químiques

Química	Voltatge (V)	Energia específica (Wh/kg)	Densitat energètica (Wh/l)	Màximes C acceptables	Temps de càrrega ràpida
<i>Àcid Plom</i>	2	33-42	60-110	0.1	14h
<i>Níquel-Cadmi</i>	1.2	40-60	50-150	1-2	1-3
<i>Níquel-hidrur metàl·lic</i>	1.2	60-120	140-300	1	2-4
<i>Ió-Liti</i>	3.7	100-265	250-730	1-2	2-4
<i>Liti-polímer</i>	3.3-3.7	100-265	250-730	1-2	2-4

Per a la competició, no es necessiten bateries que puguin fer un gran nombre de cicles ja que només es carregaran durant les proves i assajos i els dies de la competició. Díficilment s'arribarà a fer més de 300 cicles, xifra assequible per a qualsevol química. El que sí que es requereix és que tinguin una alta Energia específica i Densitat energètica de manera que ocupin i pesin el menys possible un cop es muntin a la motocicleta. Com que el temps entre proves és limitat, també necessitem que es pugin carregar el més ràpid possible.

2.4. Geometries disponibles

En quant a les bateries de liti, donat que són àmpliament utilitzades, hi ha diferents geometries disponibles en el mercat. Les tres geometries més importants són:

- **Prismàtiques:** Com el seu nom indica, tenen forma de prisma, el separador i els elèctrodes tenen forma de làmina. Dels elèctrodes sobresurten unes pestanyes que seran els terminals de la bateria. Tenen una coberta rígida perquè l'electròlit és líquid. El seu disseny permet un ús òptim de l'espai quan es munten apilades.
- **Cilíndriques:** Són les més utilitzades donat els seus avantatges de fabricació i bona estabilitat mecànica. L'estructura tubular pot aguantar una alta pressió interna sense deformar-se. Les aplicacions més típiques per les cel·les cilíndriques són eines de potència, instruments mèdics, ordinadors i vehicles elèctrics. Per a augmentar la capacitat, és més fàcil i econòmic allargar la cel·la que fer-la més ampla. En quant a la composició, són iguals que les prismàtiques però les làmines estan embolicades sobre elles mateixes de manera que formen un cilindre tal i com es veu a la imatge.

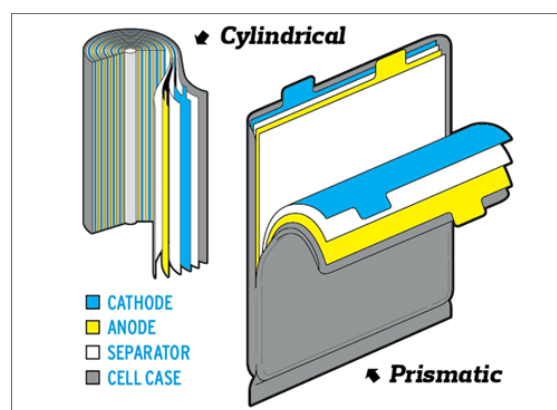


Figura 3: Estructura cel·les prismàtiques vs cilíndriques

- Pouch:** Gràcies a la seva composició, utilitzen l'espai de la manera més eficient, arribant a un 90-95% en eficiència d'empaquetat. En eliminar la coberta metàl·lica el pes es redueix però les cel·les necessiten espai per a poder-se expandir. La majoria d'aquestes cel·les són de liti-polímer ja que permeten grans càrregues de corrent. A partir dels 500 cicles és possible que s'hagin expandit entre un 8 i un 10%.

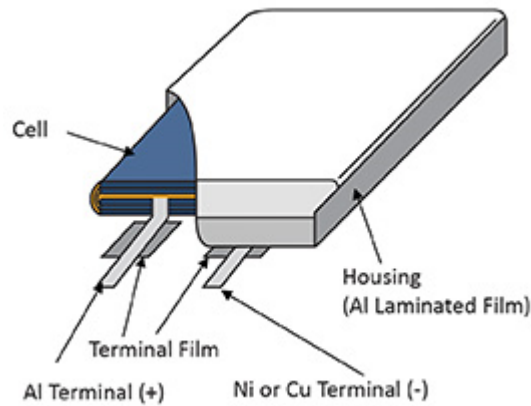


Figura 4: Estructura cel·les pouch

La tecnologia ha avançat i les cel·les prismàtiques i *pouch* tenen el potencial d'emmagatzemar més energia que les cilíndriques. Tot i això el preu per kWh de les prismàtiques/*pouch* respecte a les cilíndriques amb format 18650 (18mm de diàmetre x 65mm de longitud) és bastant similar.

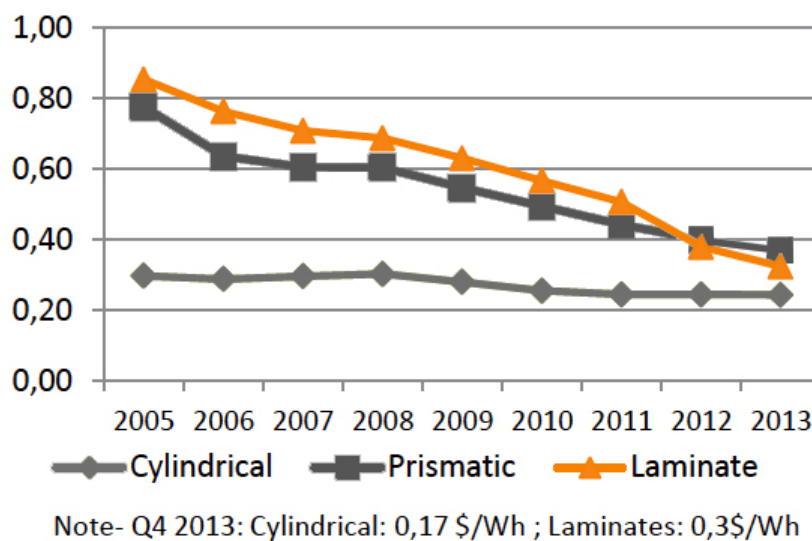


Figura 5: Evolució del preu segons geometria de cel·la.

Font: Avicenne Energy

2.5. Química seleccionada

La química més utilitzada en aplicacions similars és amb el liti. La principal raó és el conjunt de les seves propietats físiques que es poden veure a la Taula 1 (pàg. 14).

Donat que les especificacions entre l'ió de liti i el liti-polímer són similars, s'intentarà aconseguir liti-polímer ja que és més segur i hi ha més geometries a l'hora d'escollir les cel·les ja que l'electròlit no és líquid.

Gràcies a la col·laboració amb l'empresa Albufera Energy Storage, s'han aconseguit cel·les amb geometria *pouch* de química liti-polímer. Una vegada presa aquesta decisió cal estudiar quines són les precaucions a tenir en compte a l'hora de fabricar el *battery pack* amb cel·les de Liti.



Figura 6: Cel·les rebudes d'Albufera Energy Storage

Albufera Energy Storage és una empresa espanyola de referència ubicada a Madrid. Es dedica al desenvolupament de solucions en emmagatzematge energètic i a la investigació de noves bateries electroquímiques. Presta assessorament especialitzat a empreses de diversos sectors: energies renovables, elèctriques, tecnològic, automoció, etc. És una empresa implicada en la formació especialitzada a multitud de professionals, també organitza congressos internacionals en la matèria.

2.6. Precaucions i riscos

Algunes característiques de funcionament de les cel·les de liti ja han estat comentades anteriorment. Cal però, aprofundir en una explicació més extensa sobre com s'han de tractar correctament aquest tipus de bateries i quines poden ser les conseqüències en cas contrari.

En el següent diagrama es representen els límits de la zona de seguretat en la que treballa una cel·la de liti i al seu voltant s'indiquen els diferents riscos i conseqüències de sortir de la zona adequada de temperatura i voltatge.

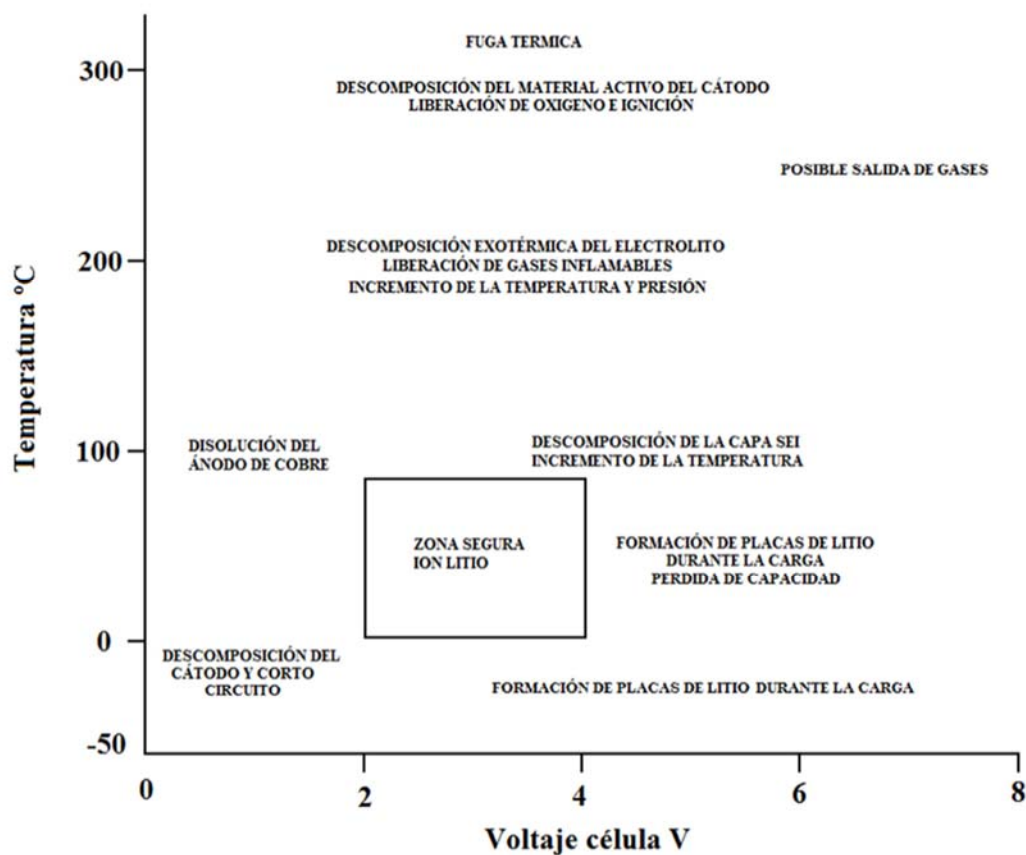


Figura 7: Zona de treball segura per a les cel·les d'ió de liti.

Font: TFG Gestor de carga de bateries – Gabriel Huerta Illera

2.6.1. Temperatura

Alta temperatura en funcionament

El nombre de reaccions químiques que tenen lloc a l'interior de la cel·la és directament proporcional a la temperatura pel compliment de la llei d'Arrhenius. En augmentar la temperatura, la intensitat generada per la cel·la també augmenta. Podria semblar un avantatge, però en augmentar la intensitat, també augmenta la potència generada per l'efecte Joule de la resistència interna de la bateria. Si el sistema de refrigeració no és capaç d'extreure tot aquest excés de calor generat, la temperatura augmenta i continua fent augmentar la intensitat i així successivament. Aquesta retroalimentació positiva de temperatura derivarà en el fenomen de Fuga tèrmica.

Fuga tèrmica

La primera etapa és la destrucció de la capa SEI (Solid Electrolyte Interface) de l'ànode. Això pot començar a una temperatura relativament baixa (80°C), donant lloc a una reacció exotèrmica entre el carboni de l'ànode i l'electròlit que contribueix a l'increment de temperatura.

Si la temperatura segueix augmentant fins a uns 110°C, els dissolvents orgànics utilitzats en l'electròlit comencen a alliberar gasos inflamables com etanol o metanol però no oxigen. Les cel·les compten amb una protecció per alliberar pressió de l'interior sense posar-la en risc.

A partir dels 135°C aproximadament es fon el separador provocant un curtcircuit entre els elèctrodes. El calor generat per aquest curtcircuit provoca la descomposició de l'oxigen del càtode el qual permet que els gasos alliberats anteriorment entrin en combustió. Aquesta combustió eleva tant la temperatura que la cel·la explota.

Baixa temperatura

La llei d'Arrhenius s'aplica de la mateixa manera que abans però com que ara la temperatura és inferior, la intensitat que pot circular per l'interior de la bateria també. Això és sobretot perillós durant la càrrega ja que s'intentarà subministrar més intensitat de l'admissible i els ions de liti en lloc de col·locar-se en estrats intercalats es dedicaran a formar plaques de liti a l'ànode, formant una placa de liti metàl·lic. Aquest efecte es

coneix com "lithium planting". Aquesta formació de plaques es tradueix en una reducció de la capacitat degut a que no hi haurà tants ions de liti lliures. Donat que el creixement de les plaques no és homogeni sinó que és dendrític, pot donar-se el cas que una placa arribi al càtode, curtcircuitant la bateria.

2.6.2. Voltatge

Sobrecàrrega

La sobrecàrrega es considera quan el voltatge de càrrega augmenta per sobre del voltatge aconsellat de 4,2V, fet que incrementa la intensitat que circula per la cel·la. La sobrecàrrega pot derivar en dos problemes els quals s'han esmentat anteriorment:

- Sobreescalfament
- Formació de plaques de liti

Sobredescàrrega

De la mateixa manera que sobrecarregar la bateria és perillós, també ho és descarregar-la excessivament ja que deriva en la descomposició dels elèctrodes.

- **Càtode:** Mantenir les cel·les a un voltatge inferior a 2V durant un temps prolongat provoca la descomposició del càtode. Aquest allibera oxigen i augmenta la pressió a l'interior. Si no es disposa d'una sortida controlada de gasos, podria explotar.
- **Ànode:** El col·lector de coure de l'ànode també es descompon i partícules de coure es dissolen a l'electròlit, fet que augmenta considerablement l'autodescàrrega. Un cop es connecta el carregador i la cel·la supera els 2V, aquest coure precipita. No té per què precipitar acumulant-se un altre cop a l'ànode sinó que pot formar dipòsits de coure i fer un curtcircuit entre els elèctrodes.

En conclusió, les bateries poden arribar a ser molt perilloses si no es respecten els límits de temperatura o de voltatge. Per a treballar dins el rang de temperatura, es disposarà de ventilació forçada a la zona del *battery pack* i, en quant al voltatge, totes les cel·les estaran connectades a un dispositiu que les gestiona anomenat BMS (Battery Management System) el qual s'explicarà més endavant.

2.7. Elements de seguretat

Dins el *battery pack* hi ha diferents elements que protegeixen les cel·les contra excessos d'intensitat, de temperatura i de voltatge. L'element més important és el BMS.

2.7.1. BMS

Ja s'ha vist la importància de mantenir les cel·les dins la seva àrea de funcionament per evitar riscos. El BMS és l'encarregat de monitoritzar els paràmetres de la bateria i utilitzant un algoritme, interpreta si estan dins els límits correctes.

Amb independència de si el BMS és senzill (per un telèfon mòbil) o complex (una bateria amb centenars de cel·les), ha de ser capaç de controlar el conjunt de cel·les de la bateria per evitar temperatures elevades, diferències de voltatge i sobreintensitats. Aquests sistemes poden allargar la vida útil de la bateria fins un 25%.

Per assegurar el bon funcionament de la bateria, el BMS constantment està llegint els paràmetres de les cel·les i analitzant-los. Com s'ha vist anteriorment, la temperatura és un factor molt important per mantenir la cel·la en bones condicions i per a la seguretat de qui manipula l'element que porta la bateria. És per això que el BMS és capaç d'impedir el pas de corrent per la bateria en cas de sortir del rang de temperatures especificat.

En quant al voltatge, el BMS talla el pas de corrent de la bateria quan se surt del rang de voltatges especificats pel fabricant de les cel·les.

Balanceig

És important tenir en compte que amb l'ús de la bateria, les cel·les es desbalancegen, el que significa que no tenen el mateix nivell de càrrega, fet que equival a que tenen diferent voltatge. Posem el cas d'una bateria amb 10 cel·les d'ió de liti en sèrie, el qual equivaldria a 36V de nominal i a 42V de voltatge quan estigués carregada al màxim. L'estat de cada cel·la de la bateria es podria resumir a la Figura 8 on la capacitat podria estar al 100%.

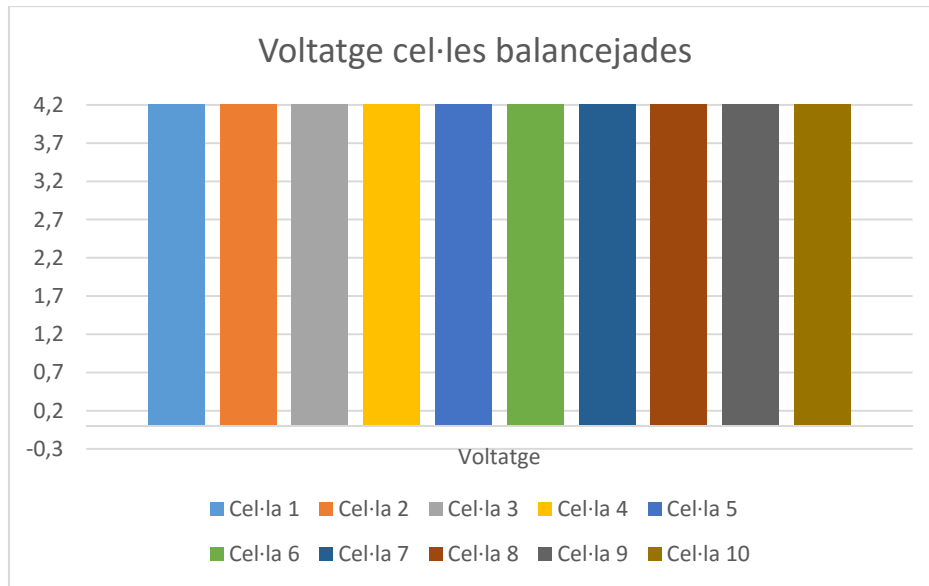


Figura 8: Voltatge cel·les balancejades

Doncs bé, durant l'ús de la bateria, és possible que en algun moment circuli més intensitat per una cel·la que per una altra, de manera que es descarregaran a diferent ritme. En quant el BMS detecti que el voltatge d'una cel·la cau per sota el voltatge de tall, tancarà el pas de corrent. En aquest punt hi haurà una cel·la el màxim de descarregada i les altres tindran un voltatge superior. Si el BMS no és capaç de balancejar les cel·les, al cap d'un temps les cel·les estaran desbalancejades i la capacitat de la bateria es veurà considerablement reduïda. Al carregar una bateria desbalancejada, el carregador deixa de carregar quan la primera cel·la arriba als 4.2V de manera que la taula amb els voltatges de les cel·les podria quedar com es mostra a la Figura 9.

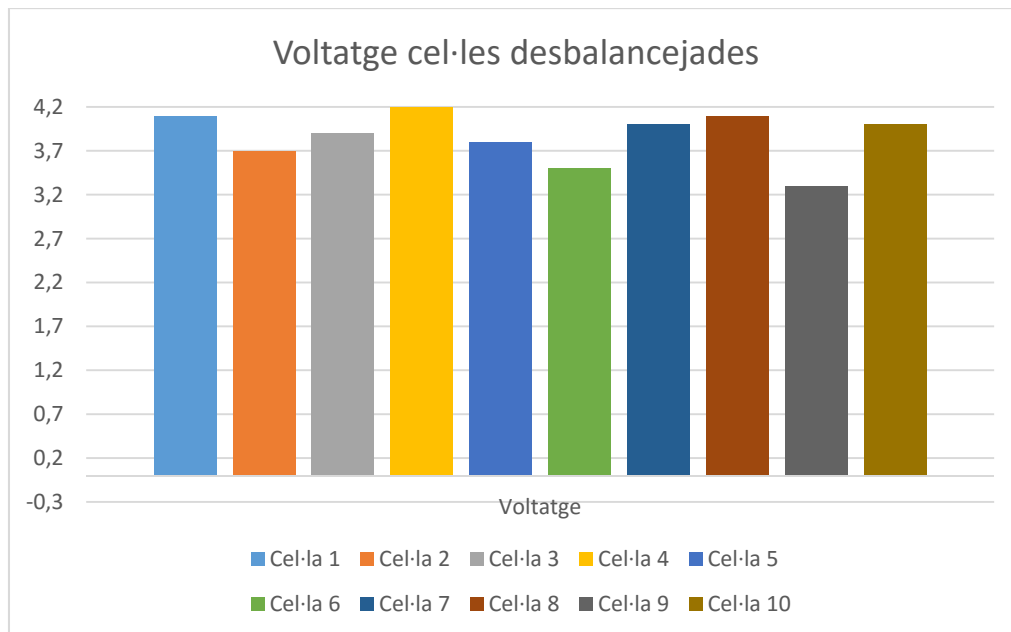


Figura 9: Voltatge cel·les desbalancejades

La conseqüència és que la bateria acaba funcionant de manera defectuosa. Només arriba a 38.9V, de manera que possiblement la seva capacitat al carregar-la estigui sobre el 50%, però no es podrà aprofitar ja que la cel·la 9 està a 3.3V, Quan es comenci a descarregar, ràpidament baixarà per sota de 3V, i el BMS tallarà el corrent per evitar que es descarregui més.

Per això és important que el BMS tingui la capacitat de balancejar les cel·les per mantenir-les sempre al mateix voltatge, allargant al màxim la capacitat de la bateria. El balanceig es fa durant la càrrega i hi ha diferents sistemes. El més utilitzat i més simple és que el BMS tingui connectada, en paral·lel a cada cel·la, una resistència de manera que quan la primera cel·la arriba a 4.2V, la resistència crema capacitat a la cel·la, permetent que la bateria segueixi carregant les altre cel·les. Un altre sistema més avançat i més eficient tracta de passar corrent de les cel·les més carregades a les menys carregades.

Si el BMS no balanceja, pot arribar un moment en el qual una cel·la es trobi al màxim voltatge i una al mínim, de manera que no es pot ni carregar ni descarregar la bateria.

2.7.2. Contactor

És un dispositiu electromecànic que acciona o interromp el pas de corrent. Té dos posicions de funcionament: una estable o de repòs, quan no rep cap acció per part del circuit de control, i una inestable, quan l'acció de control actua. La finalitat en la motocicleta serà un element de protecció i tallarà el pas de corrent en cas que sigui excessiu.

2.7.3. Fusible

Com el contactor, és un dispositiu de protecció. En aquest cas està constituït per un conductor, el qual es fon i es trenca, en circular-hi més intensitat de l'establerta pel fabricant.

2.8. Connexions sèrie i paral·lel

Una vegada explicades les propietats de les cel·les, els seus riscos i les proteccions adients, la fase següent és estudiar de quines maneres es connecten entre elles per a poder formar una bateria que compleixi els requisits necessaris de capacitat, voltatge, intensitat màxima, etc.

Cal fer notar que totes les cel·les que s'inclouen en una bateria han de ser idèntiques, tenint la mateixes característiques de voltatge, capacitat, resistència interna, química utilitzada,...

2.8.1. Connexió sèrie

Es tracta de connectar el positiu d'una cel·la amb el negatiu de la següent. El resultat és l'equivalent a una bateria amb la mateixa capacitat que una cel·la independent però amb un voltatge de sortida major. Si cada cel·la té 3.6V de voltatge nominal i se'n connecten n en sèrie, el voltatge total serà de $3.6 \times n$ volts.

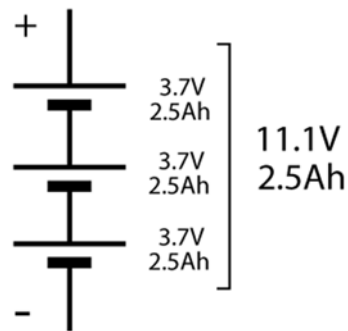


Figura 10: Esquema d'una connexió de cel·les en sèrie

2.8.2. Connexió paral·lel

Els positius de les cel·les es connecten entre si i els negatius també, amb la qual cosa s'obté una bateria de voltatge nominal igual al de la cel·la utilitzada però amb una capacitat major. De la mateixa manera que amb la connexió en sèrie, si la capacitat d'una cel·la és de 10Ah i se'n connecten m en paral·lel, la capacitat total del conjunt és de $10 \times m$ Ah.

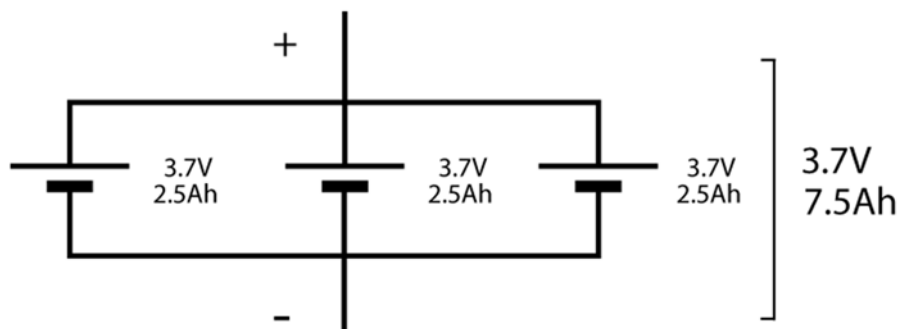


Figura 11: Esquema d'una connexió de cel·les en paral·lel

És molt important que a l'hora de connectar les cel·les en paral·lel, totes estiguin en el mateix estat de càrrega. En cas contrari, tindran voltatges diferents i començaran a

intercanviar càrrega entre elles fins a estar equilibrades, però això passarà sense limitar la intensitat que hi circula i podria escalfar excessivament la cel·la.

2.8.3. Connexió sèrie-paral·lel

En la majoria de casos, el més utilitzat és una combinació dels dos tipus de connexió anteriors de manera que es pugui arribar al voltatge desitjat amb la capacitat de la bateria desitjada. Si la bateria fos de 3.6V de nominal i 10Ah i es connectessin n cel·les amb sèrie amb m amb paral·lel, s'obtidria una bateria de $3.6 \times n$ V i $m \times 10$ Ah.

Hi ha dues maneres de dur a terme aquesta configuració. La primera és connectar primer tantes cel·les en sèrie com faci falta i després connectar cada una d'aquestes branques en paral·lel entre si.

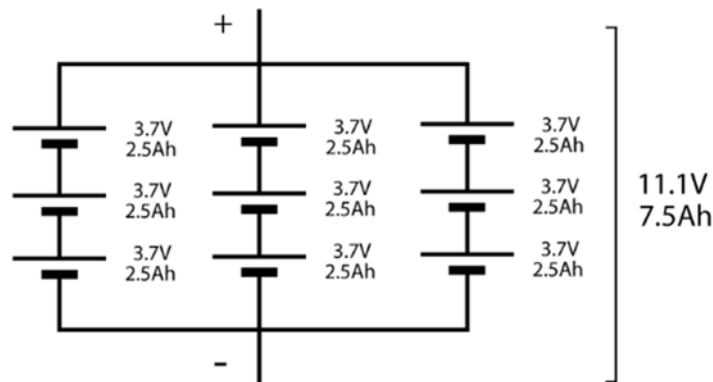


Figura 12: Esquema d'una connexió mixta de cel·les. Opció A

L'altra manera, és crear *packs* de tantes cel·les en paral·lel com sigui necessari i després connectar cada *pack* en sèrie. En aquest cas s'ha de tenir en compte que la longitud i secció dels cables sigui idèntica, de manera que la resistència dels cables sigui sempre la mateixa i no hi hagi una cel·la que es descarregui més ràpid que una altra.

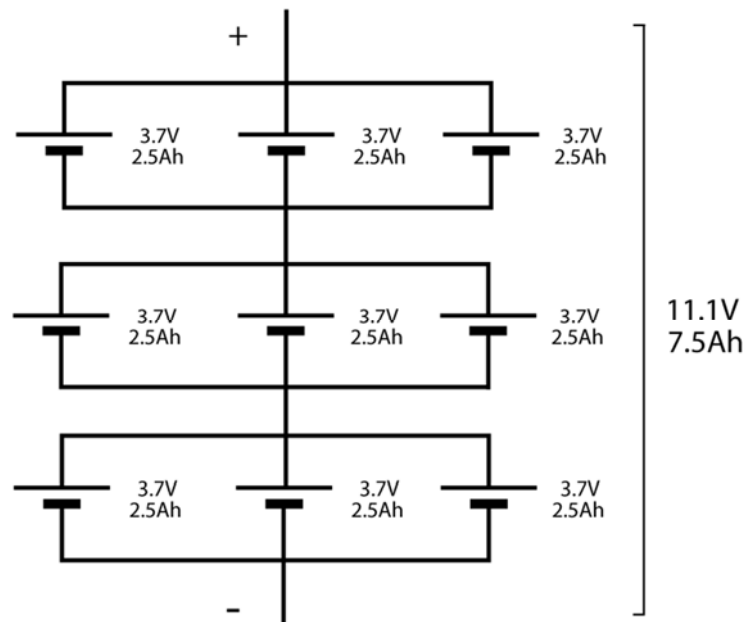


Figura 13: Esquema d'una connexió mixta de cel·les. Opció B

És important saber quina és la nomenclatura del connexionat. Per a cel·les en sèrie, la nomenclatura és el nombre de cel·les posades en sèrie seguida d'una "s". Per exemple, si tenim 10 cel·les connectades en sèrie direm que estan en configuració 10s.

Quan estan en paral·lel, el sistema és el mateix però en lloc d'una "s" és una "p". Si tenim 6 cel·les en paral·lel la configuració serà 6p.

En quant a la configuració mixta de sèrie i paral·lel, primer s'anomenen quantes cel·les hi ha en sèrie i després quantes branques en paral·lel, de manera que si tenim 6 branques en paral·lel i cada branca té 10 cel·les en sèrie la configuració és 10s6p.

3. Requisits i evolució del *battery pack*

3.1. Requisits i característiques

El motor de la motocicleta és un motor Heinzman de 13kW amb tensió nominal 96V i intensitat nominal 153A.

Taula 2: Característiques motor Heinzman

MOTOR HEINZMANN PMS 150 - RLS	
Tipo	AFPM Motor
Potencia nominal	13 kW
Ventilación	Aire
Velocidad Máxima	6.000 rpm (sin <i>field weakening</i>)
Tensión nominal	96 VDC
Intensidad nominal	153 A
Intensidad pico a motor bloqueado	550 A
Par nominal	20,7 N.m
Par pico a motor bloqueado	71 N.m
Constante Motor, Ke	0,0087 V/rpm
Peso motor	22,3 kg
Encoder	RLS – RMB29AC01SS1, analógico seno-coseno, alimentación +5V (GND independiente)
Sonda de temperatura	KTY-84

El voltatge també queda limitat per la normativa que prohibeix que sigui més alt de 110V quan la bateria està plena càrrega, donat que la tensió nominal del *battery pack* haurà de ser de 96V. En quant a la capacitat, l'última prova és una cursa de 5 voltes al circuit Motorland d'Aragó. Des de l'equip s'ha acordat que la capacitat adequada per a poder acabar la cursa ha de ser de 60Ah.

En quant a les especificacions mecàniques, totes les cel·les de l'acumulador s'hauran d'instal·lar dins d'un contenidor elèctricament aïllat del xassís. I no podrà formar part dels elements estructurals de la moto.

Referent a la configuració elèctrica, cada contenidor haurà de dur incorporat un fusible amb intensitat de tall per sota la del contactor. Cada acumulador haurà de portar també dos contactors normalment oberts, un connectat al born positiu i l'altre al born negatiu.

Coneixent les especificacions, es procedirà a veure com ha anat evolucionant la bateria des de la idea que hi havia inicialment fins a l'actual.

3.2. Evolució

3.2.1. Primer model (cel·les cilíndriques)

La intenció inicial era muntar cel·les Samsung del format 18650 amb 2.5Ah de capacitat i 3.7V de tensió nominal. De manera que per aconseguir les 96V feien falta 26 cel·les en sèrie i per aconseguir els 60Ah feien falta 24 branques en paral·lel. En total 624 cel·les tal i com es calcula a l'*Annex B*.

L'avantatge d'utilitzar aquestes cel·les era que en ser d'una mida reduïda, permetia que la geometria del *battery pack* fos bastant flexible i que es pogués adaptar bé al xassís. En aquesta versió no es va pensar en les connexions, només en plantejar-ho en el 3D per veure si era possible utilitzar aquelles cel·les.

Per a poder fixar les cel·les cilíndriques són necessaris uns elements que la subjectin. Aquests elements s'anomenen *holders* i es poden adquirir de manera individual ja que tenen unes petites ranures als voltants que permeten que s'encaixin entre si com un puzle.



Figura 14: Holder cel·la 18650

El primer disseny del *battery pack* tenia la geometria més senzilla possible, un prisma.

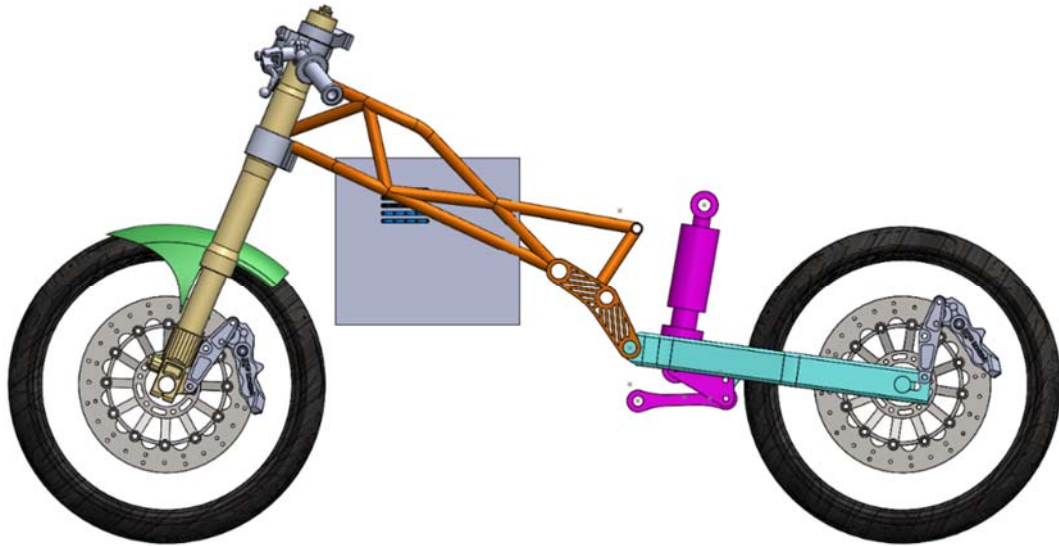


Figura 15: Vista lateral del primer model de bateria

Es van retallar unes reixes de ventilació als laterals del Package per així forçar l'entrada d'aire cap a l'interior i ajudar a refrigerar les cel·les.

3.2.2. Segon model (cel·les cilíndriques)

Un cop plantejat el primer model dins el xassís, es va veure que no quedava tan gran com inicialment s'havia pensat que quedaria. Tot i això ocupava part de l'espai del motor, per tant, es va decidir modificar-lo de manera que tingués perfil de L.

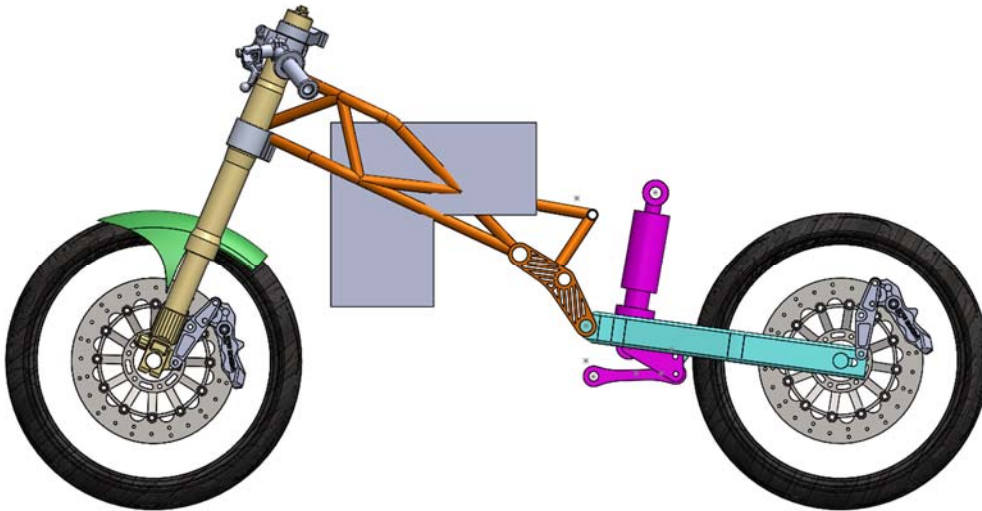


Figura 16: Vista lateral del segon model de bateria. Forma de L

D'aquesta manera deixava més espai per al motor i s'aprofitava l'espai per sobre seu. Però com que el xassís és més estret per la part posterior, el Package sortia fora del xassís. Això no era un problema donat que encara hi havia temps per modificar el xassís.

Igual que en el model anterior, encara no se sabia quines cel·les s'utilitzarien, per tant l'objectiu d'aquests dissenys era veure com quedava exteriorment i si hi havia prou espai disponible.

En el cas de què aquest disseny fos el triat, s'hauria de dissenyar correctament l'interior per evitar que les cel·les es moguessin. Donada la gran quantitat de cel·les a col·locar, això podria haver estat un problema ja que s'haurien d'haver col·locat en diferents pisos separats entre si dins la bateria, fet que dificultaria molt la ventilació.

3.2.3. Tercer model (cel·les *pouch*)

L'entrada del patrocinador Albufera Energy Storage va fer que la idea de cel·les cilíndriques amb format 18650 quedés ràpidament abandonada, ja que ells podien proporcionar a l'equip cel·les amb geometria *pouch* amb química liti-polímer. Les especificacions són: 10Ah i 3.7V.

De manera que realitzant els càlculs apropiats explicats en l'*Annex D* es veu que la configuració haurà de ser 26s6p, utilitzant un total de 156 cel·les.

En inici es va considerar l'opció de construir 6 *packs* independents, cadascun amb el seu propi BMS, i després col·locar-los en un contenidor més gran i connectar-los en paral·lel. Hi ha hagut diferents distribucions per a encabir els *packs* dins el xassís. Un dels primers dissenys tractava de posar 4 *packs* transversalment i 2 longitudinalment de manera que la forma final del *battery pack* tingués forma de L i es pogués aprofitar l'espai per sobre del motor.

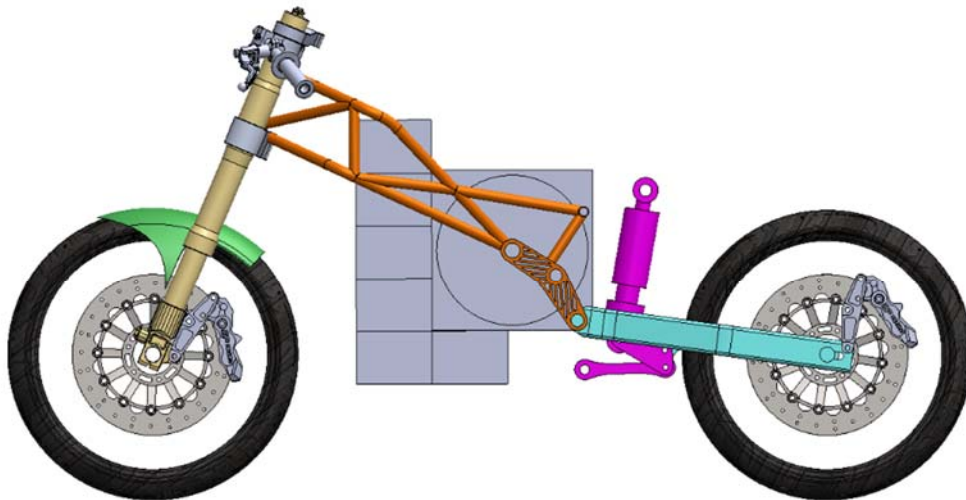


Figura 17: Vista lateral del tercer model de bateria. Packs de cel·les *pouch*

Dins de cada *pack* les bateries hi anaven fixades amb uns *holders* de xapa d'acer dissenyats especialment per aquest projecte amb els quals permetia mantenir totes les cel·les juntes, amb el seu fusible de línia i connectades al seu BMS dins del mateix *pack*.

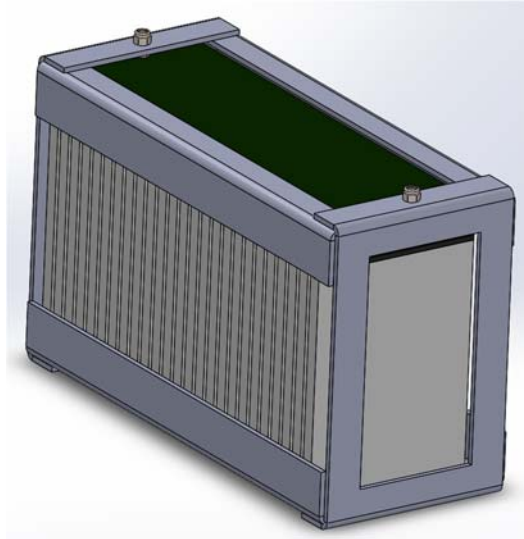


Figura 18: Primer model d'un pack de cel·les pouch

3.2.4. Quart model (cel·les *pouch*)

En aquest punt ja hi havia converses amb un proveïdor de BMS. Però el proveïdor no disposava d'un BMS 26s i s'havia de buscar una altra solució. Per a mantenir el contacte es va pensar en utilitzar BMS de 13s i col·locar-los en sèrie. Aquesta opció es va tirar endavant mentre paral·lelament es buscaven BMS de 26s d'altres proveïdors.

Analitzant altres configuracions en quant al *battery pack*, es va pensar una distribució on els *packs* anessin longitudinalment al vehicle i a la part inferior només hi hagués un *pack* de manera que quedés estret i així el carenat podia tancar d'una manera més estètica i aerodinàmica. En aquest punt va ser on el Package va començar a agafar forma donat que es va dissenyar inspirat en un armari, on hi ha diferents prestatges i es pot obrir per la part posterior.

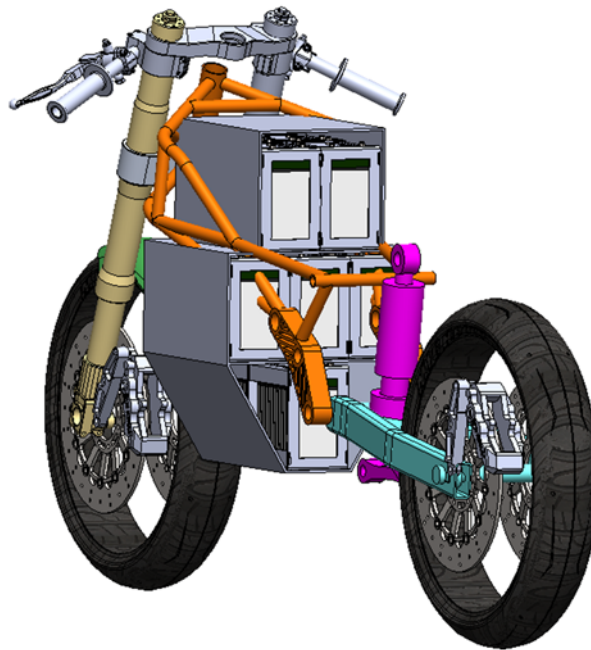


Figura 19: Vista posterior del quart model de bateria. Angle a la part inferior

Aquest Package constava de 12 bateries – de 13 cel·les en sèrie - connectades entre si. En aquest punt es va pensar que una manera molt eficient de connectar els *packs* entre si seria utilitzant connectors del tipus Anderson amb capacitat per 75A. Els connectors Anderson són uns connectors que permeten una fàcil connexió i desconnexió de l'estil “plug and play”. En funció de la mida del cable, també varia la seva mida i la dels terminals a crimpar en funció de la intensitat que han de suportar. Com es pot veure a

l'Annex E, la intensitat màxima que passaria per un dels terminals seria 50A, per tant els connectors Anderson de 75A era una solució òptima.

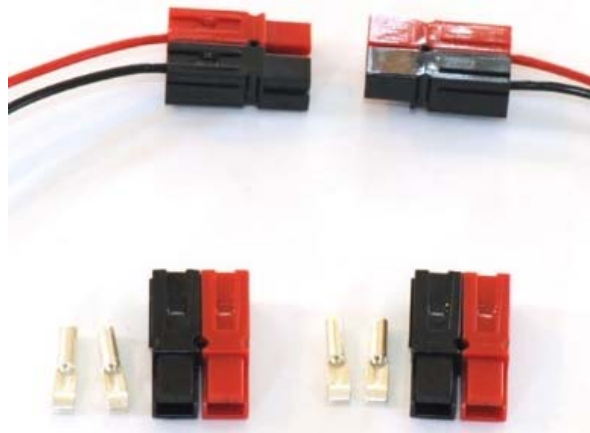


Figura 20: Connectors Anderson

3.2.5. Cinquè model (cel·les *pouch*)

Tal i com s'ha comentat, paral·lelament s'estava buscant una alternativa per al BMS que acceptés 26 cel·les en sèrie. Se'n va trobar un que complia les especificacions requerides i es va tornar a redissenyar el *battery pack*. En el cas anterior, l'opció de fer el Package com si d'un armari es tractés va agradar molt a l'equip de manera que es va mantenir la idea en ment.

Recapitulant, ara el Package tornava a estar constituït per a 6 *packs* de 26 cel·les en sèrie i l'opció de fer-ho com un armari havia estat acceptada. Per a poder tancar la part inferior del carenat, el *pack* havia de ser més estret per sota o estar almenys uns 30cm sobre el terra.

El que passava si muntàvem uns prestatges dins el Package era que la ventilació quedava realment afectada i el calor després per la bateria quedaria atrapat a cada pis de l'armari. Va ser muntant un adaptador per a encaixar un disc dur de 2.5" a una ranura per un de 3.5" on es va veure la manera amb la que es podria fixar cada un dels *packs* dins el contenidor general.

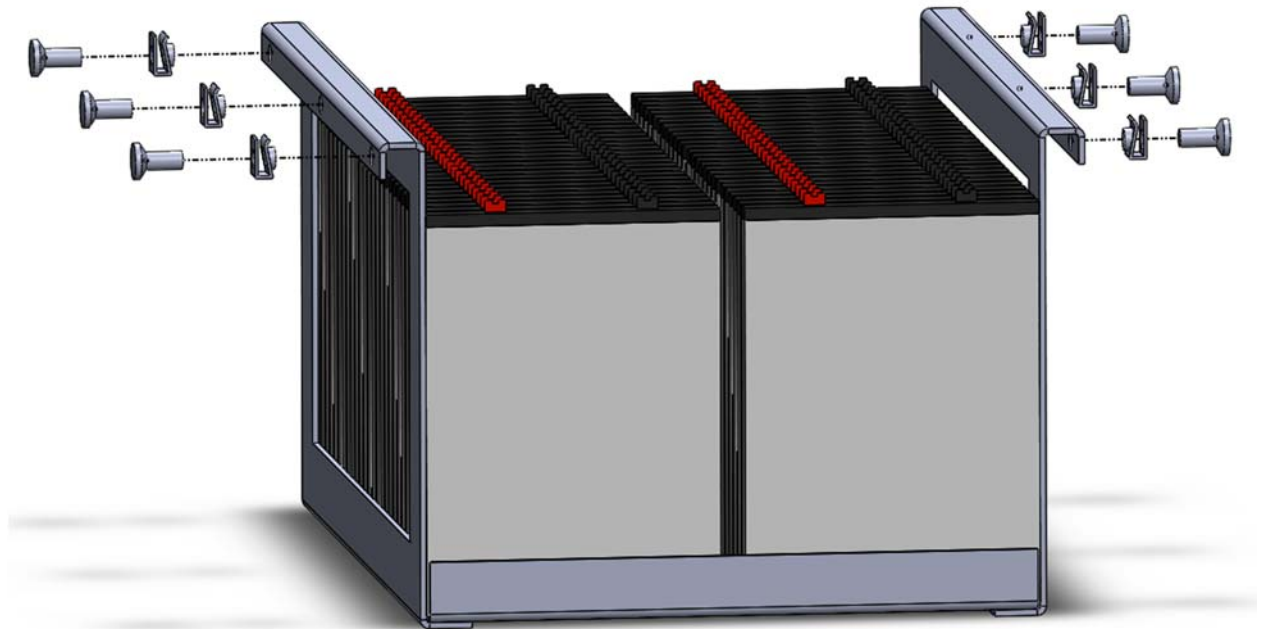


Figura 21: Segon model dels holders per cel·les *pouch*. Basat en un calaix

Com es veu a la imatge, cada *holder* suportaria dos grups de 26 cel·les en sèrie connectades en paral·lel. Cada un d'aquests *holders* estaria fixat al contenidor general

mitjançant uns cargols que anirien collats tal i com s'indica a la Figura 21 i unes grapes U-NUT permetrien rosca-los.

Donat que aquests *holders* no són caixes tancades i ja no hi ha prestatges sinó que van collats als laterals del Package, permetran una bona ventilació a l'interior. Per a una ventilació òptima una part dels laterals del Package estaran foradats i serviran com a entrada d'aire. A la part posterior superior hi haurà la sortida d'aire. Una opció addicional és posar un ventilador extractor d'aire per facilitar la sortida.

La nova configuració del Package serà 2-2-2 la qual facilita molt la fabricació del *pack* ja que és un prisma. En el cas que els BMS que s'utilitzin siguin els de 26s, hi ha espai suficient entre pisos per a col·locar-los, i també hi ha espai suficient per a la fixació dels contactors de línia i el fusible general.

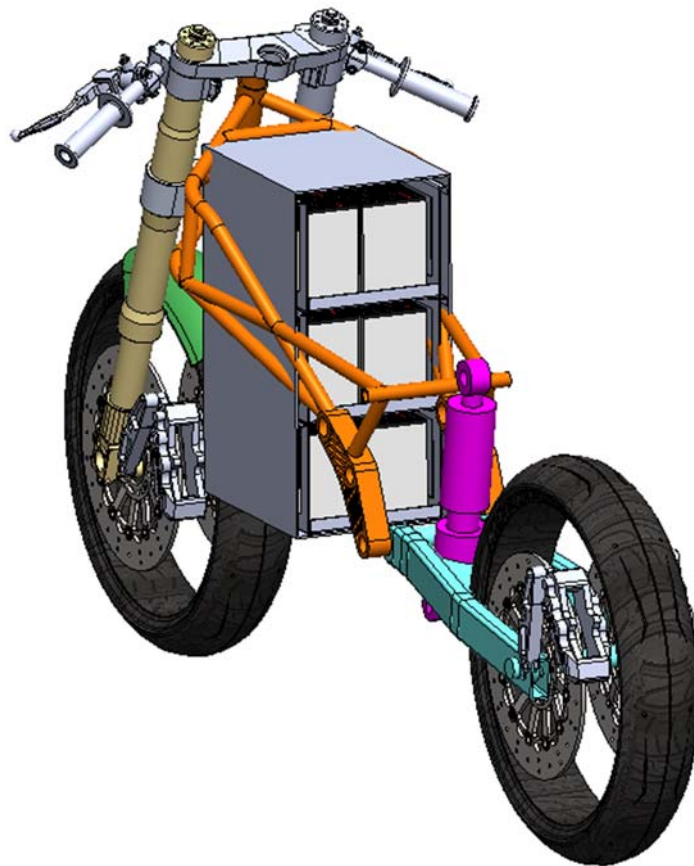


Figura 22: Vista posterior ciquè model. Calaixos dobles

3.2.6. Model definitiu

En aquest moment ja s'ha decidit quin serà el BMS definitiu que s'utilitzarà a la motocicleta. És un BMS de l'empresa Elithion, els quals es dediquen a la fabricació de BMS a mida per a empreses i particulars. En el nostre cas, serà un BMS 26s amb sensat de temperatures, intensitats i voltatges i amb balanceig. També tindrà totes les proteccions necessàries per complir amb les precaucions de les cel·les comentades a l'apartat 2.6. Precaucions i riscos

El model utilitzat serà Lithiumate Pro que consta d'un BMS Màster el qual és el cervell i d'unes plaques individuals que es col·loquen a cada cel·la en sèrie. Aquestes plaques són les encarregades de recollir les dades i de transmetre-les al BMS Màster que les processa i aplica les proteccions si és necessari.

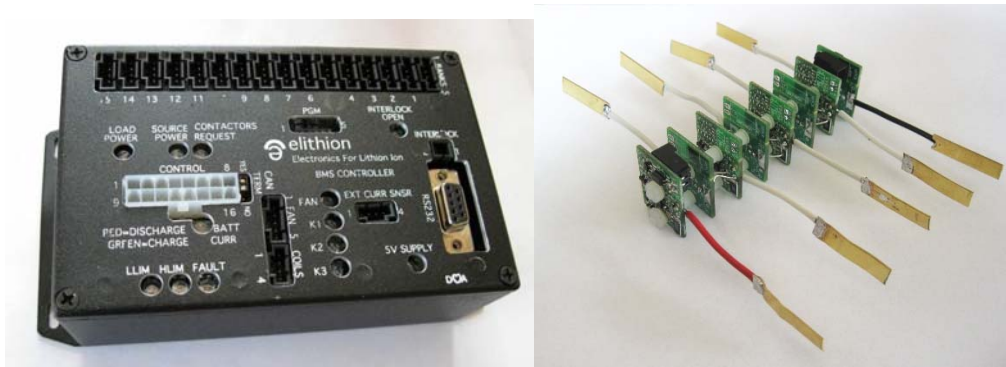


Figura 23: BMS màster Lithiumate Pro (esquerra). Cell board (dreta)

Els contactors utilitzats seran els Kilovac LEV200 i el fusible DF-NH1.



Figura 24: Contactor (esquerra). Fusible (dreta)

La configuració definitiva de les cel·les serà 26s6p i cada agrupació de cel·les en paral·lel serà considerada com una cel·la, ja que les 6 cel·les sempre estaran al mateix voltatge gràcies a estar connectades en paral·lel.

El procés de fabricació del *pack* també és més segur si se segueix aquest connexionat. Una altra alternativa seria connectar primer les 26 cel·les en sèrie i després connectar les 6 branques en paral·lel, però això és perillós perquè s'estarien connectant directament 96V en paral·lel. En el cas que hi hagi una diferència de voltatge de més d'un Volt entre branques, poden sorgir problemes en el moment de fer la connexió ja que començarien a equilibrar els voltatges però sense res que limiti la intensitat que hi circula. Per aquest motiu és més senzill fer primer el connexionat dels *packs* de 6 cel·les en paral·lel - les quals prèviament s'han carregat per estar al mateix voltatge - i llavors deixar que es balancegin durant uns minuts. Un cop tots els *packs* de 6 cel·les en paral·lel han estat ensamblats, ja es poden començar a connectar en sèrie i d'aquesta manera anar augmentant el voltatge.

En quant al Package, l'estructuració serà similar a la del model anterior però en aquesta cas en lloc d'haver-hi 52 cel·les per calaix, n'hi haurà 54 en els dos inferiors i 48 en el superior. Les agrupacions de les cel·les en els calaixos es faran de la següent manera:

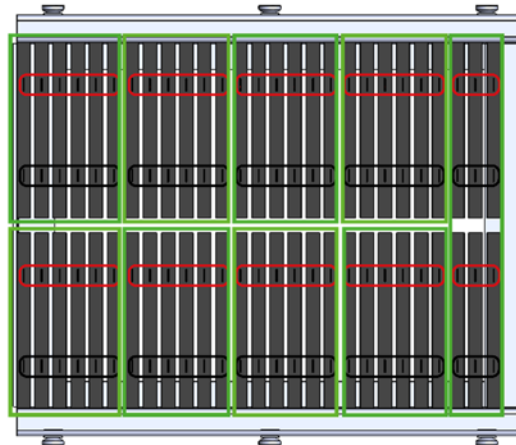


Figura 25: Agrupació de cel·les en grups de 6. Calaix de 54 cel·les

Tal i com es veu a la imatge, les 3 cel·les del final de cada filera formen un *pack* de 6 i d'aquesta manera a cada calaix de 54 cel·les hi haurà 9 *packs* connectats en sèrie.

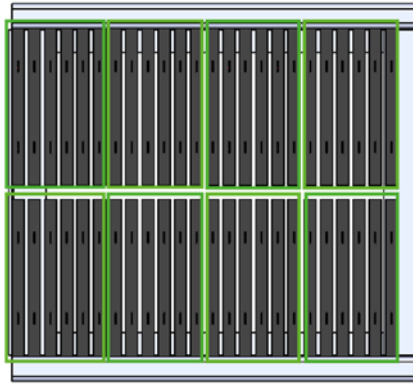


Figura 26: Agrupació de cel·les en grups de 6. Calaix de 48 cel·les

I en el calaix de 48 cel·les n'hi haurà 6.

S'ha decidit fer-ho així de manera que a la part superior, on hi haurà col·locat el calaix més petit, hi hagi espai per a col·locar els contactors, el fusible i el BMS.

El sistema de ventilació que s'utilitzarà serà el dissenyat en el model anterior. El ventilador extractor d'aire es col·locarà a la part superior de la tapa posterior.

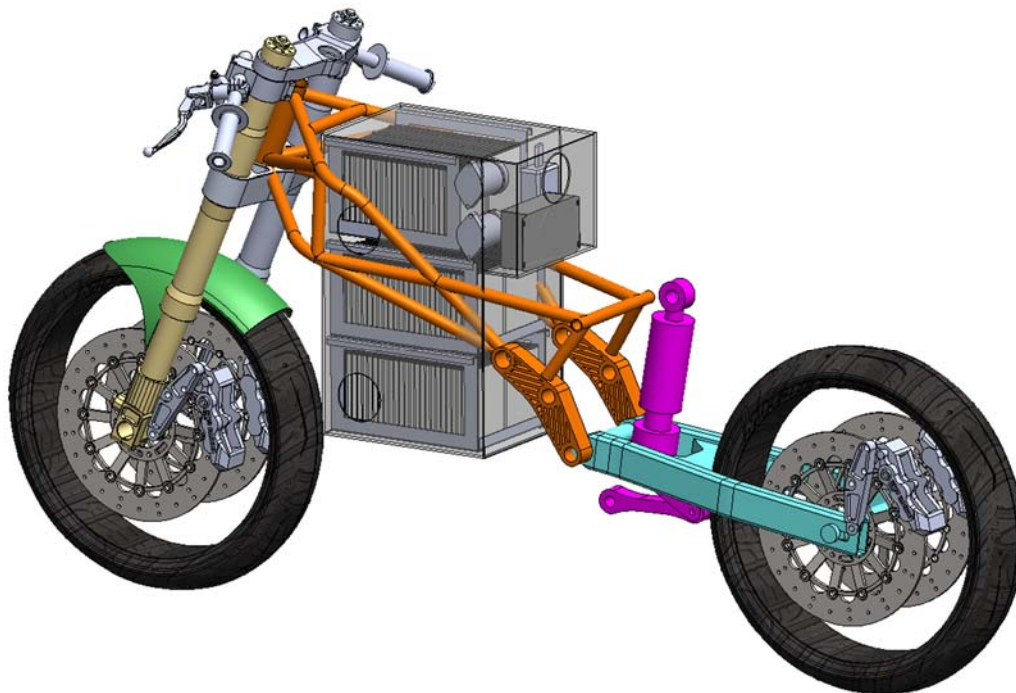


Figura 27: Vista posterior del model definitiu

4. Impacte ambiental

Actualment i des de ja fa uns anys s'està parlant molt de què els vehicles elèctrics són el futur, que contaminen poc i ajudaran a reduir l'efecte hivernacle, així com evitar l'ús del petroli per a la conducció.

Però, és tan cert tot el que s'afirma?

A continuació s'avaluaran diferents aspectes sobre l'impacte ambiental dels vehicles elèctrics.

4.1. Context

Primer de tot cal separar el procés de fabricació del període d'utilització del vehicle després de la fabricació.

Per a comparar els vehicles de gasolina, dièsel i elèctrics, l'anàlisi es basa en el seu consum global d'energia primària durant la fabricació – entenent com energia primària l'energia disponible a la naturalesa abans de passar pels processos de transformació. La fabricació de vehicles elèctrics consumeix molta més energia durant la fabricació que els altres models de vehicle. La raó principal és perquè les peces que el constitueixen són molt més sofisticades i els materials utilitzats necessiten passar per a més fases de tractament que els dels vehicles de combustió. Irònicament un dels components que més energia primària requereix és la bateria, a part està constituïda per materials de difícil reutilització i reciclatge o fins i tot tòxics com el níquel, el cadmi i l'alumini.

A més de necessitar una major quantitat d'energia per a la seva fabricació, si l'energia que s'utilitza per carregar les bateries prové de centrals que emeten alts continguts de carboni, deixen el vehicle elèctric en condicions igualitàries o fins i tot desfavorable davant els de combustió interna. En canvi, a països com Noruega on es produeix una gran quantitat d'energia neta a través de centrals hidroelèctriques, el vehicle elèctric té molt més sentit.

Vida útil més llarga

De tot l'anterior es pot extreure la conclusió de què en el punt de sortida de fàbrica, el vehicle elèctric és el que més ha contaminat de tots, però a partir d'aquest punt és el que menys contaminarà i per tant, quants més quilòmetres faci, més avantatge traurà en quant a menor contaminació.

Un vehicle elèctric amb 200.000 quilòmetres recorreguts és un 27-29% més "verd" que un de gasolina i un 17-20% que un de dièsel. En canvi un vehicle elèctric amb 100.000 quilòmetres només haurà estat un 9-14% més ecològic que els de gasolina i dièsel.

A les ciutats europees com Barcelona, Madrid, Dublín o Luxemburg és on més contaminat es troba l'aire. Entre 2008 i 2013 la contaminació atmosfèrica urbana ha augmentat un 8%. Part del problema és la carència de regulacions per part del govern en quant a la limitació de la circulació. Altres ciutats com París, Londres o Copenhage restringeixen l'entrada de vehicles dièsel o de gasolina dins el centre urbà, ja sigui prohibint l'entrada durant les hores laborables o fent pagar un peatge.

Per aquest motiu, el vehicle elèctric encara que al final de la seva vida puguin arribar a haver contaminat igual que un de combustió interna, segueix tenint avantatges respecte els altres ja que la contaminació no es centralitza a les ciutats. Les ciutats més contaminades són també les més denses i on més gent que viu fora de la ciutat hi va a treballar i estudiar i per tant acaben respirant l'aire contaminat. Segons l'OMS, la contaminació de l'aire és el major risc ambiental per a la salut causant anualment més de 3 milions de morts prematures a tot el món. L'augment de partícules petites i molt fines com partícules de sulfat, nitrat i carbó penetren profundament en els pulmons i en el sistema cardiovascular. Si s'estengués l'ús del vehicle elèctric per l'ús urbà baixaria molt la concentració de partícules tòxiques i contaminants a les ciutats.

4.1.1. Origen de l'energia a Espanya 2015

Com s'ha comentat anteriorment, el vehicle elèctric serà més o menys sostenible segons quina sigui la font d'energia utilitzada per a obtenir l'electricitat per a carregar les bateries. Segons la Red Eléctrica de Espanya (REE), durant l'any 2015 les energies renovables van ser les que més energia van aportar a la xarxa.

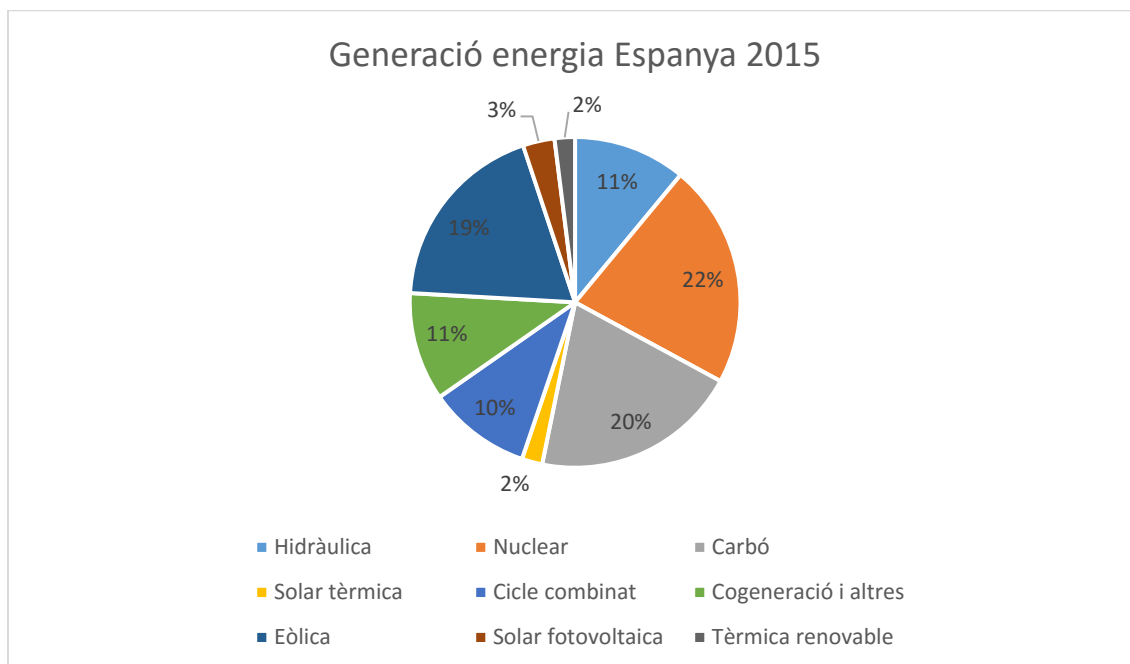


Figura 28: Origen de l'energia generada a Espanya 2015

Observant el gràfic es pot veure que les energies renovables van aportar un 37.1% de l'electricitat a Espanya. Tot i això, el percentatge ha baixat gairebé 6 punts respecte el 2014. Molta culpa és del govern, que ha deixat d'invertir en les energies renovables i ha augmentat els impostos sobre els productors d'energia renovable. Per posar un exemple, entre 2012 i 2015 s'han instal·lat 850MW de potència renovable mentre que entre 2008 i 2011 se'n van instal·lar 6800MW.

En canvi, a Portugal han aconseguit un fet històric, des del dissabte 7 de maig del 2016 fins el dimarts 11 de maig del 2016, va funcionar exclusivament amb energies renovables.

5. Planificació

La competició MotoStudent serà el mes d'octubre del 2016, de manera que aparentment hi ha suficient temps per a dissenyar el Package de la motocicleta. S'ha realitzat un diagrama de Gantt amb les diferents operacions necessàries per a tenir el Package llest per a la competició. Adjunt a l'Annex F hi ha el diagrama on s'han diferenciat les activitats segons estiguin realitzades, en procés i pendents.

El procés de disseny del Package ja s'ha explicat anteriorment, per tant ja se sap que per a poder acabar el disseny definitiu és essencial saber quin BMS es muntarà. És per això que el disseny del Package s'ha allargat durant tantes setmanes. Malgrat tot, aquesta espera també ha servit per a veure diferents possibilitats de muntatge i estudiar en detall totes les alternatives possibles pel moment de dissenyar la bateria definitiva.

El diagrama de Gantt engloba una planificació de 14 setmanes. Les 9 activitats contemplades en el diagrama s'han dividit en:

- **Quatre activitats realitzades:** Selecció i recepció de cel·les, selecció del BMS i disseny de la bateria. Durada: 10 setmanes.
- **Dues activitats en procés:** Aconseguir un carregador i rebre el BMS. Durada: 3 setmanes.
- **Tres activitats pendents:** Fabricar el Package, testejar-lo i aplicar els canvis necessaris per a tenir-lo finalitzat per la competició. Durada 3 setmanes

6. Pressupost

El pressupost necessari per a realitzar el disseny i la fabricació d'un *battery pack* per a la motocicleta de l'equip EUETIB ePowered Racing serà bàsicament de material. Donat que l'equip està compost per estudiants, els programes informàtics utilitzats tenen la versió acadèmica i els integrants tampoc cobren un salari per a realitzar el projecte.

El material utilitzat i la seva procedència es pot desglossar en:

Bateries: obtingues gràcies a la participació d'Albufera Energy Storage. Sense cost.

BMS: adquirit a Elithion, model Lithiumate.

Fusibles: proporcionats per l'empresa de fusibles DF Electric. Sense cost.

Contactors: obtinguts gràcies a la col·laboració de l'empresa Ficosa. Sense cost.

Package: fabricació pròpia per part de l'equip.

Per establir el preu dels materials del *Battery pack* s'ha tingut en compte el preu de mercat de tots els components, fins i tot el preu d'aquells que no han suposat cap cost gràcies a l'aportació dels patrocinadors.

<i>Component</i>	Quantitat	Preu unitari	Preu total
<i>Bateria</i>	156	20	3120€
<i>BMS</i>	1	1200	1200€
<i>Fusibles</i>	1	40	40€
<i>Contactors</i>	2	150	300€
<i>Package</i>	1	100	100€
<i>Cablejat i altres</i>	-	-	100€
		Total	4860€

7. Línies futures

7.1. Edició actual

El Package ja ha estat dissenyat i ara – juntament amb els especialistes del xassís – toca estudiar la manera amb la que es subjectarà el Package d'una manera rígida a la moto. Un cop dissenyat el xassís i el carenat, es procedirà a realitzar una simulació de la ventilació a l'interior de la bateria segons les condicions de descàrrega de les cel·les. La idea és extreure conclusions sobre si la ventilació serà suficient o s'haurà de modificar el sistema de cara al Package definitiu de competició. Es requerirà realitzar una nova anàlisi de temperatures a l'interior del Package en funció de la intensitat de descàrrega. És per aquesta raó que la part del projecte dedicada al disseny de la bateria queda conclosa en aquest treball. En els propers mesos queda pendent la seva fabricació i la seva posta en marxa. S'ha finalitzat una etapa però fins el mes d'octubre 2016 caldrà seguir treballant en la motocicleta per a la competició.

7.2. Edicions futures

Durant la competició un dels entrebancs que pot sorgir és que es detecti un problema en una cel·la i llavors el BMS tanqui el pas de corrent de la bateria. En edicions futures seria interessant crear un *battery pack* amb dos mòduls independents. Llavors en el cas d'una falla en un dels mòduls, es podria aconseguir que només tallés el corrent que proporciona aquell mòdul concret però que pugui seguir funcionant amb l'altre malgrat fos amb un rendiment més reduït.

Conclusions

Conclusions generals

L'elecció d'aquest projecte respon a un INTERÈS PERSONAL referit als vehicles elèctrics, en especial les bateries. Estic agraït de l'oportunitat que em va brindar el Dr. Emilio Hernández de poder col·laborar amb un equip multidisciplinar d'un altre centre universitari UPC, l'EUETIB en un projecte real que veurà la llum el proper mes d'octubre.

S'ha complert l'objectiu principal del Grau cursat en Enginyeria en Tecnologies Industrials. Tot projecte d'enginyeria requereix de diferents etapes, que de forma resumida són les següents:

- PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA: Disseny d'una bateria per a una motocicleta de competició.
- ESTUDI DE DIFERENTS ALTERNATIVES: S'han analitzat fins a sis opcions abans de decidir la més idònia, tenint en compte la composició, l'estructura, les propietats físiques, la seguretat, etc.
- ELECCIÓ DE L'ALTERNATIVA ÒPTIMA: Decisió de la bateria més adient tenint en compte els diferents requeriments de les parts implicades.
- REALITAT DEL PROJECTE: Competició Motostudent.

El projecte ha requerit d'una MULTIPLICITAT de criteris i punts de vista diferents que s'han anat coordinant al llarg de tot el procés de disseny. S'han tingut en compte:

- Diferents àmbits de coneixement: electrònica, disseny, materials utilitzats, aspectes econòmics, etc.
- Diferents variables: Potència, capacitat, temps de càrrega, temperatura, vida útil, ubicació respecte el xassís.
- Diferents opinions dels múltiples perfils d'especialistes dins l'equip de treball: dissenyadors xassís, electrònics i elèctrics.

El projecte ha suposat un elevat grau de TRANSVERSALITAT de coneixements. El present treball ha permès aplicar coneixements bàsics de disseny 3D, electricitat i electrònica apresos durant el Grau i aprofundir i adquirir nous coneixements en relació a la gestió de bateries i a la mecànica que regeix una motocicleta.

També s'ha treballat la CAPACITAT DE REACCIÓ davant els inconvenients que han anat apareixent. Els entrebancs sorgits durant el procés de disseny de la bateria han requerit noves preses de decisions, fent canviar els diferents models fins arribar a l'òptim. Val la pena destacar que el problema més freqüent ha estat el constant canvi en la configuració de les cel·les a causa del desconeixement del BMS que s'utilitzaria.

Un altre aspecte a destacar és l'ADAPTACIÓ als diferents requeriments que han vingut donats pels membres de l'equip, els organitzadors de la competició.

Conclusions tècniques

Una vegada extretes unes conclusions més generals, a continuació es detallaran les conclusions de la part més tècnica del projecte:

L'objectiu principal del treball era dissenyar una bateria per una moto de competició la qual complís diferents requeriments de voltatge, capacitat i que es pogués encabir dins el xassís. Per a assolir-lo, s'ha dissenyat una bateria de 156 cel·les de geometria *pouch* que proporcionen 3.7V i 10Ah de capacitat cadascuna. Connectades en configuració 26s6p ofereixen un voltatge nominal total de 96V i una capacitat màxima de 60Ah.

Per a aconseguir mantenir les cel·les fixes s'han dissenyat uns *holders* especials per a subjectar-les entre elles i al Package general de manera que la motocicleta sigui estable i segura. Aquests *holders* s'han dissenyat de manera que faciliten la ventilació dins l'acumulador i d'aquesta manera evitar problemes de sobretemperatures a les cel·les. En el cas advers de què la temperatura augmenti per sobre el límit de seguretat, l'element que controla l'estat de les cel·les s'encarregarà de tallar el pas de corrent mitjançant uns contactors per evitar que es segueixin sobreescalfant. Gràcies a la capacitat del BMS per balancejar les cel·les durant la càrrega s'evitarà el desbalancejament de les cel·les durant les proves i així poder aprofitar al màxim la capacitat de la bateria durant la competició.

Bibliografia

MOTOSTUDENT 2016. Rules and Regulations. [<http://www.motostudent.com/> , abril de 2016]

WIKIPEDIA. Batería eléctrica.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica#Historia, abril de 2016]

EL DIARO. De la pila de Volta al Powerwall de Elon Musk. Maig de 2015

[http://www.eldiario.es/hojaderouter/ciencia/bateria-pila-historia-Tesla-Powerwall_0_389861108.html, maig de 2016]

RENOBAT. Tipos de baterías en el mercado. Gener de 2014.

[<http://www.renobat.eu/es/comunicacion/articulos/130-principales-tipos-de-baterias-en-el-mercado>, maig de 2016]

ECURED. Ventajas batería Ni-Cd. Gener de 2016.

[http://www.ecured.cu/Bater%C3%ADas_de_Ni-Cd#Ventajas, maig de 2016]

ICMM. Baterías de níquel.

[<http://www.icmm.csic.es/jaalonso/velec/baterias/bateria.htm>, mayo de 2016]

EVWIND. Baterías zebra. Juny de 2009. [<http://www.evwind.es/2009/06/08/las-baterias-zebra-otra-alternativa-para-los-vehiculos-electricos/442>, maig de 2016]

TARGRAY. Li-ion battery cathode materials. [<http://www.targray.com/index.php/li-ion-battery/cathode-materials>, maig de 2016]

ARCHITECNOLOGIA. Baterías de Ion-Litio: conceptos, funcionamiento, mantenimiento y trucos. Parte I. Abril de 2014.

[<http://architecnologia.blogspot.com.es/2014/04/baterias-de-ion-litio-conceptos.html>, juny de 2016]

BATTERY UNIVERSITY. Types of battery cells.

[http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_battery_cells, juny de 2016]

INNOVACIÓN 300. Cómo funcionan las baterías de litio. Julio de 2011.

[<https://nelsonacevedo72.wordpress.com/2011/07/12/como-funcionan-las-baterias-de-litio/>, juny de 2016]

MINISTERIO DE INDÚSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. Libro de la energía en España 2014.

[http://www.minetur.gob.es/energia/balances/Balances/LibrosEnergia/La_Energ%C3%ADa_2014.pdf, juny de 2016]

RED ELÉCTRICA ESPAÑOLA. La demanda de energía eléctrica desciende un 2,1% en

diciembre. Diciembre de 2015. [<http://www.ree.es/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2015/12/la-demanda-de-energia-electrica-desciende-un-2-1-en-diciembre>, juny de 2016]

ENERGÍAS RENOVABLES. Las renovables produjeron en España en 2015 más electricidad que ninguna otra fuente de energía. Enero de 2016. [<http://www.energias-renovables.com/articulo/las-renovables-produjeron-en-espana-en-2015-20151230>, juny de 2016]

G. HUERTA. Gestor de carga de baterías (BMS). Universidad de Burgos, 2014

I.LÓPEZ. Diseño de una moto eléctrica de competición. Universidad de Navarra, 2014

C. TORREJÓN. Diseño de un pack de baterías para motocicletas eléctricas. Universidad Carlos III de Madrid

“Tengo solo 92 [años]. Todavía tengo tiempo para irme”

John Goodenough - referint-se a al seu estudi sobre bateries de liti.