

Universitat Politècnica de Catalunya  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona  
Departament d'Enginyeria Elèctrica

Tesi Doctoral

# Aportacions a la Transferència de Tecnologia Energètica Aeroespacial cap al Vehicle Verd Construïble a Catalunya

Juliol 2012

Tesi presentada per a obtenir el títol de Doctor per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) dins del programa de doctorat en Enginyeria Elèctrica.

Autor: Oriol Gallemí i Rovira  
Director: Dr. Ricard Bosch Tous



“El vehicle elèctric d’avui en dia és com un telèfon mòbil de l’any 1.990”

*Anònim, 2009*

Doctorand

Oriol Gallemí i Rovira

oriol.gallemí@a3e.org

Màster en Estudis Espacials (ISU, 2009)

Enginyer Superior Industrial (UPC-ETSEIB, 2006)

Director de Tesi

Ricard Bosch Tous

bosch@ee.upc.edu

Professor Titular del Departament d’Enginyeria Elèctrica de la UPC

Doctor Enginyer Industrial (1987)

Enginyer Superior Industrial (1982)









## Acta de qualificació de tesi doctoral

Curs acadèmic:

Nom i cognoms

DNI / NIE / Passaport

Programa de doctorat

Unitat estructural responsable del programa

## Resolució del Tribunal

Reunit el Tribunal designat a l'efecte, el doctorand exposa el tema de la seva tesi doctoral titulada \_\_\_\_\_  
Aportacions a la Transferència de Tecnologia Energètica Aeroespacial cap al Vehicle Verd Construïble a Catalunya.

Acabada la lectura i després de donar resposta a les qüestions formulades pels membres titulars del tribunal, aquest atorga la qualificació:

APTE       NO APTE

(Nom, cognoms i signatura)		(Nom, cognoms i signatura)	
President/a		Secretari/ària	
(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	
Vocal	Vocal	Vocal	

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ d'/de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

El resultat de l'escrutini dels vots emesos pels membres titulars del tribunal, efectuat per l'Escola de Doctorat, a instància de la Comissió de Doctorat de la UPC, atorga la MENCIO CUM LAUDE:

SI       NO

(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)
President de la Comissió de Doctorat	Secretària de la Comissió de Doctorat

Barcelona, \_\_\_\_\_ d'/de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_





## RESUM

---

El present treball, culmina un període de recerca que va començar amb l'observació i mesura dels rendiments dels primers vehicles elèctrics del mercat contemporani i de les tècniques d'optimització energètica aeroespacial.

Aquesta tesi recull i recopila les conclusions de tesis i projectes de final de carrera dirigides pel Dr. Ricard Bosch, esdevenint un graó més de la cadena cap al vehicle elèctric que ell mateix persegueix des de fa 30 anys..

L'estudi se centra al territori català per limitacions de desplaçaments i de contactes industrials, analitzant les capacitats de formació, les tècniques, les industrials tot i que els mercats potencials són mundials. Durant l'estudi, els experiments realitzats sobre propulsions elèctriques s'han realitzat en plataformes privades pel que se'n manté la confidencialitat del producte final, no necessàriament terrestre.

Finalment es dibuixen les opcions que donarien continuïtat a la tesi i les oportunitats de negoci més factibles dins del territori català.

## PARAULES CLAU

---

Automòbil, Bateria, Elèctric, Espai, Híbrid, Generador, Transferència, Vehicle



## ABSTRACT

---

This work culminates a period of research which began with the observation and performance measurement of the first modern electric vehicles together with the aerospace energy optimization techniques.

The thesis collects and compiles the findings of theses and final projects directed by Dr. Ricard Bosch, becoming one more step in his evolution chain towards the electric vehicle.

The study focuses on the Catalan territory, due to travelling expenses and industry contacts, analyzing its skills, training, techniques, industry and the potential global markets. During the study, experiments were performed on electric propulsion platforms for private companies so the confidentiality of the final product is kept, and are not necessarily ground vehicles.

Finally, this document outlines the options that would give continuity to the thesis and the most feasible business opportunities within the Catalan territory.

## KEYWORDS

---

Automobile, Batteries, Electric, Generator, Hybrid, Space, Technology, Transfer, Vehicle



## PREFACI

---

Aquesta proposta de tesi vol donar continuïtat a recopilacions de treballs PFC publicats a la UPC i de diverses tesis anteriors o contemporànies, entre d'altres les de Víctor Fuses Navarra, de Jesús Hernández, de Pedro José Talavera, de Juli Garcia Calvete i d'Albert Pelegrina, que han estat conduïdes també en el marc de doctorats en enginyeria elèctrica i que podrien trobar un fort potencial d'aplicació al vehicle elèctric.

Si bé resulta cert que he pogut viure la desinflada de la bombolla del vehicle elèctric des de dins, també tinc la ferma seguretat que el vehicle híbrid serà el futur del transport mentre es desenvolupen tecnologies alternatives per a la generació elèctrica. I no és fins ara, anys més tard de començar que puc dir tímidament que conec quelcom sobre el vehicle elèctric.

Dels resultats d'aquests anys de recerca només espero que siguin un premi per als qui he tingut el plaer de prendre el relleu i un llegat als qui seguiran els passos per a desenvolupar aquests vehicles de demà.



## AGRAÏMENTS

---

Aquest apartat és un dur compromís ja que en tres anys hi ha temps per seguir coneixent als companys que t'han acompanyat durant tota la vida, aprendre d'antics amics retrobats i conèixer-ne molts de nous, i a tots, tots, els hi agraeixo de tot cor les facilitats que m'han posat des de bon començament.

Per la naturalesa d'una tesi, sent un treball dilatat en el temps hi cal ser constant, com en una cursa de fons. Així, s'acaba convertint en una part del doctorand que acaben patint totes les es del seu entorn. De totes elles he après que el doctorat no només és un procés tècnic, sinó una actitud, una manera contínua d'aprendre de tot i de tothom, i que després cal contrastar, avaluar críticament i replicar.

Agraeixo en primer lloc i especialment la dedicació i suport de la meva família i parella en tots els sentits que un pot esperar, en l'econòmic, l'emocional, el relacional i sobretot en el temps invertit, per la seva paciència i immens amor mostrat.

Al Dr. Ricard Bosch i Tous, qui va ser la primera a amb qui vaig aconseguir entreveure un camí per abordar les meves inquietuds d'investigació. Li agraeixo que hagi confiat en mi des del principi i que m'hagi prestat la seva col·laboració per aconseguir dur a bon port aquesta aventura que ha capitanejat sàviament.

Voldria agrair els comentaris i col·laboració de moltes persones que han aportat també el seu gra de sorra en aquesta aventura: el Dr. Víctor Fuses, el Sr. Robert Capella, en Jesús Álvarez, en Jordi Bosch, en Marc Martí, la Mercè Barba, en Mario Sancho, en Carles Bou, i als mestres de taller Lluís Maria Lorente (DEE) i Kim Albó (DEM).

També m'agradaria destacar a la llista alguns dels companys de viatge que m'han ajudat i em segueixen donant suport sempre que cal: a la FIM el Dr. Oriol Puig Bultó (President de la CTI) i família i el Sr Charles Hennekam (Coordinador tècnic), al Sr. Octavio Camino de l'Agència Espacial Europea (ESA-ESOC), a la FCM al Sr Àngel Viladoms (President), a l'APY al Sr Carles Bosch, al COEIC al Sr. Francesc Garriga i companys de la SCA, a l'Enric i l'Ivan de Mavilor, en Marc i en Jordi de Drassanes Dalmau, en Joan i en Xavi de Sun-Red i a l'Oriol Saperas d'AIC.

Igualment, he après molt de treballadors i fans de l'electricitat, en Carles Uris (tallers Uris), Jordi Roig (Bit-amina), i els companys de Remy, BRD, Alfer, Rieju, Derbi, Münch, Lightning, EPO, Motoczysz, CRP i Zero.

A tots els mencionats i a tothom qui em deixo,

MOLTES GRÀCIES!





## SUPORTS

---

Entrar en un grup de recerca sempre és un pas important per a un jove investigador. Entrar en un grup on només hi ha tècnics i on la tasca administrativa i burocràtica és simplificada i reduïda és encara més important.

Per aquest motiu i davant l'absència de personal dedicat exclusivament a les tasques de despatx, el doctorat ha estat íntegrament finançat per l'estudiant realitzant tasques dins del departament i fent classes i microprojectes per a tercers.

Val a dir que la despesa prevista al principi s'ha hagut de compensar amb feines addicionals per afrontar els continus augments de taxes i recàrrecs que hi ha hagut dins de la universitat, pel que ha calgut multiplicar els esforços i escurçar les nits i caps de setmana per sobre del previst.



## PREMIS I PUBLICACIONS

---

Classes MASTAC (Máster en tecnologías del automóvil de competición), “La moto elèctrica en 20 hores”, Desembre 2010.

Ponència a les jornades de sostenibilitat al tecnocampus de Mataró (Diputació de Barcelona) “Qui ressuscitarà el VE?”, Març 2011.

Classes PQPI Argentona (Ajuntament d'Argentona), “Formació per a auxiliars d'electricista”, Octubre 2010, Octubre 2011.

Modificacions a l'ALE V.E.H. (UPC-ETSEIB), “8 Punts clau per al vehicle elèctric”, Febrer 2011.

Publicacions FIM (distribució limitada), 12 articles fonamentals sobre la moto elèctrica.

Revista “La Moto”, pionera a l'estat en la divulgació dels vehicles elèctrics. 2 articles.

Reglaments FIM disponibles a [www.fim-live.com](http://www.fim-live.com) (e-power>reglaments>CCR).

Difusió TV France1 “Développement des vehicules électriques de compétition”, Abril 2011 ([http://www.renault-eco2.com/web/swf/externalplayer/external\\_player.swf?urlraison=http%3A%2F%2Fhttp5.publicis-net.yacast.net%2Fpublicisnet%2Fvideos%2Fcourse\\_moto\\_epower.flv](http://www.renault-eco2.com/web/swf/externalplayer/external_player.swf?urlraison=http%3A%2F%2Fhttp5.publicis-net.yacast.net%2Fpublicisnet%2Fvideos%2Fcourse_moto_epower.flv) , visitat el 15 d'agost de 2011).

Classes al màster de motocicleta MOTOTECH (8 hores) Desembre 2011, Març 2012.

Ponència al EEVC de Brussel·les “Weight driven optimisation for vehicle propulsion determination”, Juny 2011.

Publicacions al GTIEV (Grup de Treball d'Incendis i Explosions en Vehicles), ISPC 2011.

Ponència al CETIB titulada “Mobilitat sostenible per a tothom”, Maig 2012.



## MOTIVACIÓ

---

Són molts els motius que em porten a cursar el doctorat sobre aquesta causa. Primerament, el fet d'haver nascut en un poble, l'ur terme municipal té 40 quilòmetres quadrats de zona forestal i agrícola, situat en un país petit i amb pocs recursos energètics comuns (petroli, carbó, urani) com Catalunya, on el desplaçament terrestre és abundant.

En segon lloc, la meua trajectòria personal, que m'ha portat des de Beijing fins a Moscou, passant per Grenoble, Berlín, Darmstadt, Estrasburg, Madrid, Toulouse, París, Frankfurt i Lió i que m'ha fet veure diferents aspectes dels models actuals de ciutat i patrons de mobilitat.

En tercer lloc, la proximitat de tornar a casa i treballar amb un gran equip. Arran d'una entrevista al canal 3/24 vaig entaular la primera conversa amb qui és ara el director de tesi el 22 de febrer de 2009, mentre treballava a l'Agència Espacial Europea. Havent conegut breument el Dr. Bosch durant la meua estada a l'ETSEIB, es presentava una gran oportunitat per a fer un projecte molt interessant i innovador des d'un punt de vista tecnològic.

I els reptes no es poden rebutjar.

Finalment, la crisi econòmica. Diu el tòpic que les èpoques de grans crisis són èpoques de grans oportunitats. Amb poques xifres sobre la taula i amb la inconsciència necessària de joventut, em decanto un temps de la luxosa indústria espacial i afronto el repte d'aixecar l'interès per un dels pilars que considero fonamentals en un país desenvolupat: la generació i consum racionals d'energia.



# ÍNDIX

---

<b>RESUM</b> .....	<b>IX</b>
<b>PARAULES CLAU</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XI</b>
<b>KEYWORDS</b> .....	<b>XI</b>
<b>PREFACI</b> .....	<b>XIII</b>
<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>XV</b>
<b>SUPORTS</b> .....	<b>XVII</b>
<b>PREMIS I PUBLICACIONS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>MOTIVACIÓ</b> .....	<b>XXI</b>
<b>ÍNDIX</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>INDEX DE FIGURES</b> .....	<b>XXVII</b>
<b>INDEX DE TAULES</b> .....	<b>XXXI</b>
<b>LLISTA D'ACRÒNIMS</b> .....	<b>XXXIV</b>
<b>1 HIPÒTESI DE TREBALL</b> .....	<b>39</b>
1.1 ANTECEDENTS.....	39
1.2 OBJECTIUS DE LA PROPOSTA DE TESI.....	39
1.3 HIPÒTESI DE TREBALL.....	39
1.4 METODOLOGIA I PLA DE TREBALL.....	40
1.4.1 <i>Saber: Entendre la teoria i funcionament del laboratori</i> .....	40
1.4.2 <i>Construir: Disseny i construcció de prototips</i> .....	41
1.4.3 <i>Vendre: publicar resultats en cursos de formació per a tècnics</i> .....	41
<b>2 INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>43</b>
2.1 SEGLE XX L'ERA DEL TRANSPORT.....	43
2.2 PECULIARITATS DEL SECTOR DEL VEHICLE.....	45
2.2.1 <i>L'energia a Catalunya</i> .....	50
<b>3 ANÀLISI DEL CAPITAL HUMÀ CATALÀ AL VE</b> .....	<b>53</b>
3.1 HISTÒRIC.....	53
3.2 PRESENT.....	53
3.2.1 <i>Formacions superiors</i> .....	55
3.2.2 <i>Formacions mitges: CFGS, CFGM i PQPI</i> .....	55
3.3 PERSPECTIVES.....	56
<b>4 ANÀLISI DE LA CADENA ENERGÈTICA A L'ESPAI</b> .....	<b>57</b>
4.1 TECNOLOGIA AEROESPACIAL.....	57
4.2 SISTEMA DE PROPULSIÓ ELÈCTRICA.....	58
4.3 SUBSISTEMA DE POTÈNCIA.....	59
4.4 DISSENY, TECNOLOGIA, AUTONOMIA.....	59
4.4.1 <i>Bus de potència</i> .....	60

4.4.2	<i>Bateries de liti</i> .....	61
4.4.3	<i>Operacions en insolació directa</i> .....	61
4.4.4	<i>Operacions en eclipsi</i> .....	61
4.4.5	<i>SSPC</i> .....	62
4.4.6	<i>Shunts dels panells solars</i> .....	62
4.4.7	<i>MPC</i> .....	62
4.4.8	<i>panells solars</i> .....	62
4.5	SUBSISTEMES.....	63
4.5.1	<i>Eclipsis</i> .....	63
4.5.2	<i>Bateries: rendiment durant els eclipsis</i> .....	64
4.5.3	<i>Efectes de les altes temperatures al rendiment de les bateries</i> .....	65
4.5.4	<i>Estratègia abans de la 1a temporada d'eclipsis</i> .....	65
4.5.5	<i>Degradació dels panells solars</i> .....	66
4.6	LLIÇONS APRESES DEL SISTEMA DE POTÈNCIA.....	68
<b>5</b>	<b>ANÀLISI DE LA TECNOLOGIA DEL VE</b> .....	<b>69</b>
5.1	VE PUR.....	71
5.1.1	<i>Adaptats</i> .....	71
5.1.2	<i>Electromòbils</i> .....	71
5.2	VE HÍBRID.....	71
5.2.1	<i>Sèrie</i> .....	72
5.2.2	<i>Paral·lel</i> .....	72
5.1	HISTÒRIC.....	74
5.2	PRESENT.....	75
5.3	FONTS D'ENERGIA ELÈCTRICA.....	77
5.3.1	<i>Generadors</i> .....	77
5.3.2	<i>Tecnologies d'emmagatzematge</i> .....	78
5.3.3	<i>Electroquímic</i> .....	79
5.3.4	<i>Electròlit i electrodes</i> .....	80
5.3.5	<i>Estat líquid</i> .....	81
	Plom.....	81
	Bateries de Níquel Cadmi (NiCd).....	82
5.3.6	<i>Estat sòlid</i> .....	83
	Liti – Òxid de Cobalt (LiCoO <sub>2</sub> ).....	83
	Liti – Òxid de manganès (LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ).....	85
	Liti fosfat de ferro (LiFePO <sub>4</sub> ).....	86
	Liti Níquel Manganès amb òxid de Cobalt. (LiNiMnCoO <sub>2</sub> , NMC).....	88
	Liti Níquel Cobalt i òxid d' Alumini (LiNiCoAlO <sub>2</sub> , NCA).....	89
	Titanat de liti (Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub> , Li <sub>5</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>13</sub> ).....	90
	Níquel Hidru de metall (NiMH).....	91
	Níquel ferro (NiFe).....	91
	Níquel-Zinc (NiZn).....	92
	Níquel Hidrogen (NiH).....	92
	Zinc-aire.....	92
	Plata-Zinc (ZnAg).....	92
	Sulfur de Sodi (NaS).....	92
	Alcalina re usable.....	93
5.3.7	<i>Cel·les de combustible</i> .....	93
	Pila de combustible amb membrana d'intercanvi de protons (PEMFC).....	94



Pila de combustible alcalina (AFC) .....	94
Pila de combustible d'òxids sòlids (SOFC) .....	95
Pila de combustible de metanol (Direct MFC).....	95
5.3.8 <i>Elèctric</i> .....	96
Supercondensadors .....	97
Catenàries.....	98
<b>6   SEGURETAT ALS VE .....</b>	<b>99</b>
6.1   PERILL D'ELECTROCUCIÓ .....	99
6.2   EFECTES DIFERITS.....	104
6.3   RISCOS DE LES BATERIES.....	106
6.4   MÈTODES PER TALLAR EL SUBMINISTRAMENT ELÈCTRIC DE POTÈNCIA.....	107
6.5   SEGURETAT ALS VEHICLES HÍBRID-ELÈCTRIC .....	108
6.6   RISC DE LES BATERIES .....	109
6.7   MÈTODES PER TALLAR EL SUBMINISTRAMENT ELÈCTRIC D'ALTA TENSIÓ .....	110
6.8   PAUTES DE RESPOSTA A EMERGÈNCIES DE VEHICLES HÍBRIDS.....	110
6.9   SEGURETAT EN LA LOGÍSTICA DEL SUBMINISTRAMENT ENERGÈTIC .....	110
6.9.1 <i>Selectivitat</i> .....	110
6.9.2 <i>Fusibles</i> .....	111
6.9.3 <i>Magnetotèrmics</i> .....	112
6.9.4 <i>Proteccions programables</i> .....	113
6.10  SEGURETAT AMB BATERIES DE LITI .....	113
6.11  SEGURETAT AMB LA CEL·LA DE COMBUSTIBLE .....	114
6.12  SISTEMES RECUPERADORS D'ENERGIA.....	115
6.13  CATENÀRIES.....	116
<b>7   DESGLOSSAMENT TÈCNIC .....</b>	<b>117</b>
7.1   GRUP ELECTRÒGEN (MOTOR TÈRMIC AMB GENERADOR).....	117
7.2   MOTOR TRACTOR .....	118
7.3   APLICACIONS.....	121
7.4   CONSUMS DELS VEHICLES.....	123
7.4.1 <i>Consumidors d'energia elèctrica</i> .....	123
7.4.2 <i>Sistemes auxiliars del cotxe actual</i> .....	123
7.4.3 <i>Estructura i control actiu</i> .....	124
7.5   RECUPERACIÓ DE L'ENERGIA .....	125
7.5.1 <i>Cicles de càrrega</i> .....	125
7.5.2 <i>Consums auxiliars</i> .....	125
7.5.3 <i>Frenat regeneratiu (o no consum)</i> .....	125
7.5.4 <i>Biomassa i cogeneració</i> .....	126
7.6   GESTIÓ DE L'ENERGIA: TIPOLOGIA DE CÀRREGUES.....	126
7.7   PERSPECTIVES.....	127
7.7.1 <i>Pes generador</i> .....	129
7.7.2 <i>Pes bateries</i> .....	129
7.7.3 <i>L leis de semblança: una metodologia d'assaig</i> .....	130
Introducció .....	130
Hipòtesi.....	131
Limitacions .....	131
Població .....	131
Prestacions .....	131

Model.....	132
Optimització del ritme .....	132
Observacions .....	133
Restriccions químiques .....	133
Escales .....	133
Anàlisi dimensional d'escalles.....	133
Prestacions reals .....	135
Límits de consum .....	136
Acords internacionals.....	136
Següents passos .....	137
7.7.4 Cicles definits: NEDC.....	137
7.7.5 Complexitat.....	140
7.8 OPTIMITZACIÓ DEL VEHICLE (I LA SEVA CONDUCCIÓ).....	141
7.9 NOVES TECNOLOGIES.....	145
7.9.1 Piles de Combustible.....	145
7.9.2 Seebeck/Peltier: l'efecte termoelectric.....	146
7.9.3 Superconductors.....	146
<b>8 TRANSFERÈNCIA TECNOLÒGICA A CATALUNYA .....</b>	<b>147</b>
<b>9 APORTACIONS I CONCLUSIONS.....</b>	<b>151</b>
9.1 APORTACIONS MÉS RELLEVANTS .....	151
9.1.1 Conclusions sobre el capital humà .....	151
9.1.2 Conclusions sobre la tecnologia del VE.....	152
9.1.3 Conclusions sobre la seguretat al VE .....	152
9.1.4 Conclusions sobre el desglossament tècnic.....	153
9.1.5 Conclusions sobre la transferència tecnològica.....	154
9.2 PASSOS SEGÜENTS.....	154
<b>10 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES.....</b>	<b>157</b>
10.1 PUBLICACIONS (REVISTES) .....	157
10.2 TESIS I PFC UNIVERSITARIS .....	161
10.3 BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA .....	163
10.4 ENLLAÇOS D'INTERNET I PAPERS .....	165
10.5 COMUNICACIONS PERSONALS .....	167
<b>11 ANNEX A: DIMENSIONAMENT DE VEHICLES .....</b>	<b>169</b>
<b>12 ANNEX B: SIMULACIÓ D'UN VEHICLE ELÈCTRIC.....</b>	<b>173</b>
<b>13 ANNEX C: LADY .....</b>	<b>175</b>
<b>14 ANNEX D: ASSAIG EN SOBRECÀRREGA.....</b>	<b>179</b>
<b>15 ANNEX E: FIM E-POWER.....</b>	<b>183</b>
<b>16 ANNEX F: ESTRUCTURA DELS CURSOS.....</b>	<b>201</b>
<b>17 ANNEX G: FUTUR DE LA PROPULSIÓ .....</b>	<b>203</b>

## INDEX DE FIGURES

---

Figura 1-1: Projecte innovador MIUS, les Bereco EMO, Yamaha eco3 i la Govecs 1.4.....	40
Figura 2-1: Lohner Porsche, recreació del 2011 (Porsche Museum) .....	43
Figura 2-2: La llibertat de moviment segons Pau (RACC) .....	44
Figura 2-3: El preu del petroli té una tendència creixent, mentre que els jaciments minven ( <a href="http://www.leg2capital.com">http://www.leg2capital.com</a> ).....	45
Figura 2-4: Cicle de vida d'un producte i l'eterna "reinvenció" del negoci automobilístic ( <a href="http://www.anomalousmaterial.com">http://www.anomalousmaterial.com</a> ).....	46
Figura 2-5: Producció de vehicles per marca mare ( <a href="http://www.mystd.de">http://www.mystd.de</a> ).....	47
Figura 2-6: Evolució de la massa dels vehicles 1995-2005 (STA).....	48
Figura 2-7: El gest malaltís de carregar i estar 1 minut a la benzina ha de seguir sent un hàbit ( <a href="http://www.businessgreen.com">http://www.businessgreen.com</a> ).....	49
Figura 2-8: Saturn EV-1 i Acabion ( <a href="http://papermag.com">papermag.com</a> i <a href="http://acabion.com">acabion.com</a> ) .....	49
Figura 2-9: Mapa forestal del nord-est peninsular ( <a href="http://gfn.unizar.es/renovables">http://gfn.unizar.es/renovables</a> ).....	50
Figura 3-1: Màquines tractores de Valtellina, les primeres elèctriques (wiki commons).....	53
Figura 4-1: Trajectòria d'injecció de l'SMART-1 a òrbita Lunar (ESA) .....	57
Figura 4-2 El sistema de propulsió d'ions de xenó en un banc de proves terrestre (SNECMA).....	58
Figura 4-3: El propulsor elèctric del Smart-1, SNECMA PPS®-1350-G (SNECMA).....	59
Figura 4-4: Sistema elèctric de potència, subsistema de propulsió (ESA).....	60
Figura 4-5: Perfil d'eclipsis de la missió sencera (ESA).....	63
Figura 4-6: Bateria 5 per sobre de 35°C (ESOC).....	65
Figura 4-7: Potència dels panells solars al llarg de la missió (ESA) .....	66
Figura 4-8: Canvis de l'eficiència del panell fotovoltaic en funció de la temperatura (ESA).....	67
Figura 4-9: Potència elèctrica generada en funció de la temperatura del panell 1 (ESA).....	68
Figura 5-1: Cicles de l'energia (wiki commons) .....	70
Figura 5-2: Estructura d'un vehicle híbrid sèrie.....	72
Figura 5-3: Estructura d'un vehicle híbrid paral·lel.....	73
Figura 5-4: Quan les mides i el parc no paren de créixer apareixen més problemes (RACC) .....	74
Figura 5-5: Biscúter 200, Biscúter coupé, FH i Isetta ( <a href="http://grupo7.com/microcoches">grupo7.com/microcoches</a> ).....	74
Figura 5-6: Keicar, vehicle lleuger japonès ( <a href="http://images.thetruthaboutcars.com">http://images.thetruthaboutcars.com</a> ).....	75
Figura 5-7: Electric Race About ( <a href="http://www.era.fi">www.era.fi</a> ).....	76
Figura 5-8: Energia específica i material de càtode (Cadex) .....	81
Figura 5-9: La bateria d'arrencada té moltes fines cel·les en paral·lel per aconseguir la mínima resistència elèctrica. No tolera descàrregues profundes.....	82
Figura 5-10: Amb elèctrodes més gruixuts es poden assolir fins a 300 cicles amb un 80% de descàrrega. La tecnologia AGM permet vides superiors als 1000 cicles .....	82
Figura 5-11: L'estructura de LiCo és laminada. ....	84
Figura 5-12: Vehicles com el Tesla Roadster munten 6800 cel·les mida 18650 de LiCo ( <a href="http://Tesla.com">Tesla.com</a> ).....	84
Figura 5-13: Característiques d'una cel·la tipus LiCo. ....	85
Figura 5-14: L'estructura de Li – òxid de manganès és la base per aconseguir una resistència baixa i unes altes prestacions instantànies. ....	85
Figura 5-15: Característiques d'una cel·la tipus Li-Mn.....	86
Figura 5-16: Característiques d'una cel·la tipus LiFePO4.....	87
Figura 5-17: Vehicles com el Think City, el Mahindra Reva Li Ion o el quadricicle Tazzari Zero munten LFP (Think també disponible amb Zebra).....	88
Figura 5-18: Vehicles com el Nissan Leaf anuncien muntar bateries NMC ( <a href="http://www.nissan.jp">www.nissan.jp</a> ).....	89

Figura 5-19: Característiques d'una cel·la tipus NMC.....	89
Figura 5-20: Característiques d'una cel·la tipus Li-NCA.....	90
Figura 5-21: Característiques d'una cel·la tipus titanat de liti.....	90
Figura 5-22: El britànic Lightning Car, han anunciat muntar bateries de titanat de liti (Font: Lightningcars.co.uk).....	91
Figura 5-23: L'ànode rep el combustible (H <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , Hidrazina) i el càtode l'oxidant (O <sub>2</sub> , aire). 94	
Figura 5-24: L'elevada resistència interna provoca una caiguda sobtada de la tensió en aplicar una càrrega. El marge màxim de potència es troba entre 300 i 800mA, mentre que el rendiment màxim (30%) estaria prop dels 200mA/cm <sup>2</sup> . ....	96
Figura 6-1: Efectes del corrent elèctric en corrent altern (IEC 60479-1).....	101
Figura 6-2: Efecte del corrent elèctric en corrent continu (IEC 60479-1).....	102
Figura 6-3: Efectes de la freqüència al llindar de percepció (IEC 60479-1).....	103
Figura 6-4: Efectes d'un contacte directe braç-peu (operari en bastida metàl·lica contacta cable MT).....	104
Figura 6-5: Símbol del doble aïllament elèctric i bateria amb doble aïllament ( <a href="http://img.motorpasion.com">http://img.motorpasion.com</a> ).....	105
Figura 6-6: El Toyota Prius porta aïllament tèrmic, mecànic, apantallament i aïllant elèctric.....	105
Figura 6-7: Símbol identificador d'alta tensió.....	106
Figura 6-8: Exemple d'una moto que no incorporava sensors de temperatura ni fusibles intermedis en cap dels blocs de bateries de NMC (2010).....	106
Figura 6-9: En motors amb escombretes, els perills dels arcs voltaics interiors creen problemes de temperatura.....	107
Figura 6-10: Seqüència de maniobres d'excarceració en un vehicle híbrid als estats units (Detroit FD i GM).....	109
Figura 6-11: Borns exposats de les bateries. Als vehicles comercials no s'hi pot accedir directament (epo-bike.de i Peace'n'love rider).....	110
Figura 6-12: Si situem un generador a l'esquerra i consumidors als caps de línia, tenim un esquema en arbre d'aigües amunt a aigües avall.....	111
Figura 6-13: Esquema de fusible de coure-estany.....	112
Figura 6-14: Corba tipus d'un magnetotèrmic K.....	113
Figura 6-15: Exemple de sobrecàrrega: una cel·la LCO es reescalfa, rebenta, es desinfla i algunes guspises volen pocs cm.....	114
Figura 7-1: Estructura electrònica de potència d'un controlador A/C actiu (Siemens).....	119
Figura 7-2: Potència de frenada d'un vehicle convencional a frenades entre 3 i 10 m/s <sup>2</sup> .....	119
Figura 7-3: Motor a roda (Wheel Hub Motor WHM) d'estructura polar 63/56.....	120
Figura 7-4: Assaig tèrmic del motor a roda a l'estiu de 2011 després de 15 minuts de proves... 121	
Figura 7-5: Vehicle dida <i>Angel car</i> (font: <a href="http://www.forococheselectricos.com">http://www.forococheselectricos.com</a> ).....	122
Figura 7-6: Comportament del generador síncron de l'embarcació Soliport (FNB).....	122
Figura 7-7: Vehicle dida japonès ( <a href="http://www.motorpasionfuturo.com">http://www.motorpasionfuturo.com</a> ).....	123
Figura 7-8: Logotip de la FIM i de les series FIM e-Power.....	136
Figura 7-9: Simulació de consum NEDC d'un vehicle de la Shell eco-Marathon.....	138
Figura 7-10: Simulació de consum NEDC d'un prototip consumint 1L/100km.....	138
Figura 7-11: Simulació de consum NEDC d'un vehicle de competició elèctric pur.....	139
Figura 7-12: Simulació de consum NEDC d'un Toyota Prius Gen2 de l'any 2007.....	139
Figura 7-13: Simulació de consum NEDC d'una motocicleta carenada actual, elèctrica 100%. 140	
Figura 7-14: Experiment a velocitat constant del Prius Gen2 2007 (500km+ per punt).....	142
Figura 7-15: Panell de monitorització del Prius.....	143
Figura 7-16: Potència obtinguda en la simulació d'un vehicle híbrid de 1000kg.....	144
Figura 7-17: Consum obtingut en la simulació d'un vehicle híbrid de 1000kg.....	144

Figura 7-18: L'oferta de conferències del vehicle del futur s'ha disparat els darrers anys.....	145
Figura 11-1: Eix X en kg i eix Y en W/kg.....	169
Figura 11-2: Energia específica segons els fabricants de bateries (models).....	170
Figura 11-3: Capacitat específica (X) contra potència específica (Y) .....	170
Figura 11-4: Relació entre consum real i consum d'un vehicle a escala amb bateries de NiMH idèntiques.....	171
Figura 13-1: Esquema de funcionament del prototip LADY.....	175
Figura 13-2: Comportament en excitació separada i amb rotor bloquejat.....	176
Figura 13-3: Resultats amb el rotor bloquejat i connexió en paral·lel.....	176
Figura 13-4: Resultats del motor amb excitació sèrie amb el rotor bloquejat.....	177
Figura 14-1: Parell-corrent-tensió d'alimentació del motor asíncron amb el rotor parat.....	179
Figura 14-2: Ajust del model computeritzat (blau) i l'experiment (vermell) .....	180
Figura 14-11: Experiment que mostra el temps d'acoblament en funció de la freqüència.....	181
Figura 14-12: Zoom per veure l'acoblament a baixa freqüència i l'estabilitat propera a 50Hz...181	181
Figura 14-13: Comportament del motor d'inducció en buit a diferents corrents i tensions d'alimentació .....	182
Figura 15-1. Exemple de fallida en llanda d'aliatge (cortesía de Linden Adams, SBK Donington Park 2011).....	186
Figura 15-2 Senyalització de perill elèctric.....	190
Figura 17-1: Vehicle ecològic del futur per Pau (RACC).....	204



## INDEX DE TAULES

---

Taula 4-1: Capacitats de les bateries del Smart-1 (ESOC) .....	64
Taula 4-2: Exemple de la telemetria presa durant un eclipsi (ESOC).....	64
Taula 5-1: Principals esdeveniments en el desenvolupament de les bateries (Cadex).....	79
Taula 5-2: Nomenclatura dels diversos materials de càtode i usos.....	83
Taula 5-3: Sumari de les piles de combustible .....	96
Taula 5-4: Comparativa Ultracaps Vs Bateries (Maxwell Technologies, Inc.).....	97
Taula 6-1: Corrents de fuga i interval de tall màxim per al cos humà (IEC) .....	99
Taula 6-2: Tensions segons el REBT, estàndards industrials, però no en automoció.....	100
Taula 6-3: Variacions d'impedància (Ohms) del cos humà en funció de la tensió, temps i freqüència (IEC 60479-1).....	103
Taula 7-1: Massa mitjana de la flota de vehicles US.....	130
Taula 7-2: Evolució de la massa mitjana dels vehicles a Europa .....	131
Taula 7-3: Matriu de relacions dimensionals entre magnituds .....	133
Taula 7-4: Relació entre magnituds i escales .....	135
Taula 7-5: Taula d'escales assumint densitat constant (mateixos materials).....	135
Taula 7-6: Taula d'escales assumint esforços constants (materials lleugers) .....	136
Taula 8-1: Taula comparativa dels sistemes espacials i terrestres .....	147
Taula 8-2: Comparativa dels principals paràmetres de disseny actuals.....	150
Taula 12-1: Elements continuament connectats al convertidor DC/DC .....	173







## LLISTA D'ACRÒNIMS

---

### A

AC	Alternative Current, corrent altern
ACEE	Acumulador Cinètic d'Energia Elèctrica

### B

B5 (B20, B99)	Gasoli mesclat amb bio dièsel. El nombre és el percentatge de bio al líquid
BAPTA	Solar Array Drive Mechanism (brushed)
BEV	Battery electric vehicle
BME	Battery Management Electronics
BMS	Battery management system
BMS	Battery Management System
BOL	Beginning of Life

### C

c.d.g.	Centre de Gravetat
CAN	Controller Area Network
CARB	California Air Resources Board.
CC	Curtcircuit
CVT	Continuously variable transmission. Una transmissió amb desmultiplicació variable contínuament, sense marxes fixes

### D

DC	Direct Current, corrent continu
DCT	Dual-clutch transmission. Un canvi de marxes de doble embragatge
DEE	Departament d'Enginyeria Elèctrica
DI	Direct injection
DIF	Diferencial
DoD	Depth of discharge
DOM	Domain Controller
DSG	Direct Shift Gearbox. Un DCT rebatejat

### E

E85 (also: E10, E15)	Benzina mesclada amb etanol. És el percentatge d'etanol al líquid
Ec	Energia cinètica [J, kWh]
EDTA	Electric Drive Transportation Association
EOL	End of Life
EREV	Extended Range Electric Vehicle, un tipus de vehicle híbrid sèrie
ESA	European Space Agency

### F

F	Força [N]
---	-----------

### G

GE	Generador Elèctric
----	--------------------

### H

HCCI	Homogeneous Charge Compression Ignition
HPSSPC	High Power Solid State Power Controller

### I

I	Corrent nominal [A]
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
IK	Index d'Impacte segons IEC
I <sub>max</sub>	Corrent màxim [A]
I <sub>max</sub>	Intensitat de punta [A]
IP	Index de Protecció segons IEC
<b>J</b>	
J	Inèrcia [Kg*m <sup>2</sup> ]
<b>K</b>	
KE	Constant de FEM +/- 5% [V*s/rad]
KERS	Kinetic Energy Recovery System. ACEE
KT	Constant de parell +/- 5% [Nm/A]
<b>L</b>	
L	Inductància [mH], Longitud [m], Capacitat [Litres]
LED	Light Emitting Diode
Li-io	Lithium-ion, família de bateries
LPSSPC	Low Power Solid State Power Controller
<b>M</b>	
MBC	Main Bus Capacitor. Condensador principal
MBTF	Molt Baixa Tensió Funcional
MBTP	Molt Baixa Tensió de Protecció
MBTS	Molt Baixa Tensió de Seguretat
ME	Motor Elèctric, màquina rotativa (en aquest treball)
MEA	Main Error Amplificator
MIT	Massachussets Institute of Technology
MMT	Departament de Màquines i Motors Tèrmics
MOSFET	Metal Oxide Substrate Field Effect Transistor
MPC	Main Power Controller
MPPT	Maximum Power Point Tracker
MT	Motor Tèrmic, de combustió
<b>N</b>	
NEDC	New European Driving Cycle. Consta de 4 cicles urbans i un extraurbà.
NiMH	Niquel i hidrur metàl·lic, un tipus de bateries
n <sub>max</sub>	Velocitat màxima de gir [min <sup>-1</sup> ]
n <sub>min</sub>	Velocitat mínima de gir [min <sup>-1</sup> ]
<b>O</b>	
OEM	Original Equipment Manufacturer
OSI	Open Systems Interconnection, Model de capes informàtic
<b>P</b>	
P	Potència útil nominal [W]
PCDU	Power Conditioning and Distribution Unit
PHEV	Plug in Hybrid Electric Vehicle. Un vehicle elèctric híbrid endollable
PM	Permanent Magnet
PPIM	PCDU Power Interface Module

Ps	Potència transitòria [KW/s]
PZEV	Partial Zero Emission Vehicle. Una categoria de la CARB
RTG	Radioisotope Thermoelectric Generator. Cel·la Peltier-Seebeck
<b>S</b>	
S3R	Sequential Switching Shunt Regulation
SF6	Hexafluorur de sofre. Gas incompatible amb la vaselina dielèctrica
SOC	State of Charge. Estat de la pitjor dels elements d'una bateria
SULEV	Super Ultra Low Emission Vehicle. Una categoria de la CARB
SUV	Sport Utility Vehicle. Una camioneta per a portar el nen a l'escola
<b>T</b>	
TDI	Turbocharged Direct Injection
TSI	Turbo Stratified Injection
<b>U</b>	
U	Tensió nominal +/- 5% [V]
ULEV	Ultra low emission vehicle. Una categoria de la CARB
<b>V</b>	
VEH	Vehicle elèctric híbrid
VVT	Variable valve timing, un sistema que controla les vàlvules en obertura i temps
VW	Volkswagen (i per extensió Audi, Skoda i Seat)
<b>Z</b>	
ZEV	Zero emission vehicle. Una categoria de la CARB





# 1 HIPÒTESI DE TREBALL

---

En aquest primer capítol es descriu de forma sintètica el panorama històric, la foto actual i les perspectives de futur del VE i VEH a Catalunya i que contextualitzen la hipòtesi principal del treball, complementant la feina feta a la proposta de tesi.

## 1.1 Antecedents

---

Un anàlisi del potencial del vehicle elèctric (VE) a Catalunya, posant especial èmfasi en els camps del capital humà, el capital tecnològic i el capital industrial permet identificar els segments on hi ha buits de coneixement i potencials camps d'aprenentatge.

La tesi dissenya i munta un sistema tipus i el caracteritzarà mitjançant els coneixements adquirits d'enginyeria en automoció a l'ETSEIB, de gestió a l'INP Grenoble, els projectes a dins del grup Renault a més dels coneixements de tecnologia energètica aeroespacial durant la trajectòria professional a la International Space University i l'Agència Espacial Europea i des de la plaça actual com a Director Tècnic de les sèries elèctriques e-Power de la Federació Internacional de Motociclisme.

## 1.2 Objectius de la proposta de tesi

---

Detectar en quins camps es troben els buits més grans a cobrir estratègicament (camps clau) i que poden donar lloc a una tesi congruent amb l'entorn i les perspectives de futur del vehicle elèctric i les oportunitats de transferència tecnològica dins del territori català.

Durant la primera part de la recerca, es va consultar les publicacions que apareixen en simposis, col·loquis, revistes i memòries en el sectors aeroespacial i de l'automòbil que siguin contrastables i discutibles.

Per consistència amb els objectius de mobilitat i sostenibilitat del projecte, es minimitzarà el volum d'informació impresa en paper, optimitzarà el nombre de desplaçaments i aprofitarà el temps de les mateixes persones involucrades al projecte.

La sistemàtica de taller ha estat definida durant aquesta fase, i s'estableixen uns espais de treball i material, en gran part reutilitzable i reutilitzat, a més de disposar d'instal·lacions alienes a la UPC i equips particulars.

En una segona part experimental amb una durada aproximada de 2 anys es procedeix al disseny i supervisió d'un prototipus de vehicle elèctric híbrid.

## 1.3 Hipòtesi de treball

---

La construcció i desplegament d'un vehicle elèctric que aplica tècniques aeroespacials és plenament factible a Catalunya.



Figura 1-1: Projecte innovador MIUS, les Bereco EMO, Yamaha eco3 i la Govecs 1.4

#### 1.4 Metodologia i pla de treball

La metodologia de treball se sustenta en els pilars dels programes de doctorat dirigits pel Dr. Bosch, que són particularment:

- Saber
- Construir
- Vendre

Aquesta és, a més, una tesi d'actualitat. Es va optar per la transferència de tecnologia per la creixent rellevància del vehicle elèctric i pels darrers avenços en la tecnologia espacial. Per raons evidents sobre confidencialitat, resulta molt escassa la bibliografia i documentació rellevant, publicada i publicable tant sobre els satèl·lits actuals com sobre el vehicle elèctric actual, pel que les referències es basen sobre informacions publicades, contrastades i sobre resultats experimentals validats, repetibles i reproduïbles.

Malgrat els intents de molts fabricants de maquillar, camuflar o amagar dades respecte els models que han posat al mercat, s'ha pogut arribar a trobar la majoria de paràmetres reals en base a les especificacions tècniques dels components, alguns assajats en paral·lel gràcies a la col·laboració d'empreses, particulars i entitats.

##### 1.4.1 Saber: Entendre la teoria i funcionament del laboratori

El petit grup de recerca disposa d'un humil laboratori a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria



Industrial amb tecnologia i pressupostos modestos. Igualment com amb la tecnologia russa de durant la cursa espacial o els anys de la guerra freda, les solucions més eficients sempre venen donades partint de models de baix pressupost. I així es demostra en el funcionament diari del laboratori.

Es disposa dels laboratoris del DEE i MMT, amb ple suport dels professors Jesús Álvarez i Ricard Bosch.

#### **1.4.2 Construir: Disseny i construcció de prototips**

Aquest pilar igualment serveix per validar que els coneixements adquirits realment funcionen. Així com la creativitat sense innovació resulta estèril, un coneixement sense la posta en pràctica no pot fer un doctor digne de tal menció.

Per aquesta fita, s'han proposat els enllaços amb les tesis i PFC del 600 híbrid (Cogeneració, efecte Peltier), d'Alstom (KERS), l'EcoSlim (Híbrid sèrie, bateries, generadors dièsel, solar, pila de combustible i eòlic) i el projecte LADY (excitació sèrie/paral·lel/separada en corrent continu), i el projecte de la trompa d'aigua (Baixa tensió, control de corrent per càrrega i adaptació d'impedàncies).

#### **1.4.3 Vendre: publicar resultats en cursos de formació per a tècnics**

Amb els coneixements que s'han anat adquirint, i consolidant els materials dels que ja disposa el grup de treball, es proposen una sèrie d'objectius que serviran per a difondre les troballes que es vagin fent. A tall d'exemple, es presenten resultats a diferents nivells d'aprofundiment a:

- UPC: La referència a seguir és l'assignatura ALE *Vehicles elèctrics i híbrids*, que deriva del projecte *Despertaferro* a l'any 2000 i que encara segueix, havent-se només interromput les classes a l'any 2011. A més, els *campus de verano* permeten a estudiants de secundària poder descobrir aquesta tecnologia emergent.
- FIM: Des de la Federació Internacional de Motociclisme s'organitza el campionat internacional de motos elèctriques de velocitat, que són curses en circuit tancat, i requereixen l'elaboració d'un reglament tècnic i unes verificacions elèctriques que cap altre tipus de competició ha tingut mai. A més, ajuda a poder crear uns estàndards internacionals de seguretat basats en assajos de laboratori.
- GRIE-SIV: El Grup de recerca sobre incendis i explosions en vehicles és un equip format per cossos de bombers i policia, que s'encarrega de validar els protocols d'acció en cas d'incident o accident elèctric i les mesures que cal aplicar. En tots els casos es procura validar i aprendre de les experiències dels fets succeïts i es consolida la informació en publicacions oficials de l'ISPC.
- APY: Gràcies a l'*Asociación de Patronos de Yate* es disposa de tres embarcacions anomenades *LADY*, *SOLIPORT* i *RAS* que serveixen com a plataforma d'assaig de vehicles híbrids.
- MASTAC: El "Màster en tecnologies del automòbil de competició" inaugura al 2010 les primeres sessions oficials d'un postgrau que parla sobre vehicles elèctrics i híbrids de competició.
- PQPI: A l'Ajuntament d'Argentona es preparen unes sessions semestrals per a alumnes amb dificultats d'aprenentatge on se'ls orienta al descobriment de l'electricitat com a flux energètic per a la tracció de vehicles.
- TMB: L'empresa TMB és una de les més innovadores de cara a l'assaig i la compra de vehicles de baixes emissions. En els darrers anys ha adquirit vehicles amb pila de combustible, algunes unitats híbrides i sol·licitava cursos de formació de cara als encarregats de manteniment i els seleccionadors de noves unitats, per tal d'escollir els

models que més s'adeqüin a les necessitats de la ciutat.

- STA: En col·laboració amb la STA s'ha portat a terme jornades sobre el vehicle elèctric i la mobilitat sostenible. Malgrat els esforços realitzats, encara es podria treballar més per a crear un pol de coneixement i una escola de formació d'especialistes.
- DiBa: Des de la Diputació de Barcelona s'han organitzat ponències en les que el contingut tècnic ha vingut donat per la UPC i s'han pogut exposar alguns dels arguments continguts en aquesta tesi.
- EEVC: Ha estat la primera cimera europea del vehicle elèctric, on ha quedat plasmat l'escàs coneixement del vehicle elèctric per part d'alts càrrecs i indústria. A més, aparentment, ningú ha posat sobre la taula el model de mobilitat per tal de reflexionar sobre quins són els modes de transport. El *paper* exposat com a Director Tècnic de la FIM sobre motocicletes va ressonar molta estona al fòrum.
- MotoTech: El curs 2011-12 ha reprès la marxa el postgrau MotoTech, en el que s'hi ha inclòs un mòdul sobre motocicletes elèctriques i en el que prenen part fabricants de bateries, motors i electrònica. Actualment és una de les formacions pioneres en aquest àmbit de nivell superior.

## 2 INTRODUCCIÓ

---

Aquesta tesi va començar de forma molt generalista, intentant abarcar tot el que fes falta per a construir un vehicle elèctric a Catalunya. Posteriorment es va anar refinant fins al punt de tractar amb especial interès la part motriu i optimitzar la cadena energètica del vehicle del futur, centrant-se en el territori català. Sent a més una tesi amb voluntat divulgativa, s'ha hagut de treballar fort als tallers dels col·laboradors i el laboratori per tal de poder muntar els prototips que s'exposen en aquesta tesi.

Degut a la ingent quantitat d'informació de la que s'ha disposat, la bibliografia s'ha hagut de compactar per ser digerible i útil per als candidats a prendre el relleu dins del laboratori.

Com diu l'enginyer Albert Cot, l'energia és bàsica en l'activitat de qualsevol societat [P059].

### 2.1 Segle XX l'era del transport

---

Si hi ha algun fet que ha canviat el comportament humà en el darrer segle, es podria dir que ha estat el transport. El procés com a tal es considera culminat quan les guerres van tenir abast mundial i quan al final les transaccions de béns es realitzen a nivell mundial, batejades amb una etiqueta anomenada "globalització".

I el transport ha crescut en el si del gran poder energètic i la facilitat d'obtenció del petroli, que ha permès aquesta explosió de productivitat i mobilitat. Ens centrarem primerament en el transport terrestre autònom, dominat avui en dia pels motors tèrmics (MT) de cicles Otto i dièsel.

Si el 1672, Ferdinand Verbiest dissenyava el primer vehicle autopropulsat a vapor, no fou fins el 1770 que Joseph Cugnot inventà el primer cotxe capaç de tragar persones. Cap a 1839 Robert Anderson, va presentar a Escòcia el primer vehicle elèctric de la història. El 1876 el primer motor de pistons de cicle Otto va funcionar. El 1899 es va batre la barrera dels 100km/h amb un vehicle elèctric a França i el 1900, Lohner Porsche presenta un vehicle elèctric amb 2 motors integrats a les rodes a Alemanya. Els inicis del segle XX es varen passar amb vehicles elèctrics, gràcies al coneixement de l'electricitat del moment. Posteriorment, la densitat energètica del petroli i simplicitat dels motors de combustió van fer ombra a qualsevol vehicle elèctric contemporani, i d'ençà que ningú ha pogut batre la força del petroli, ni guerres ni crisis.

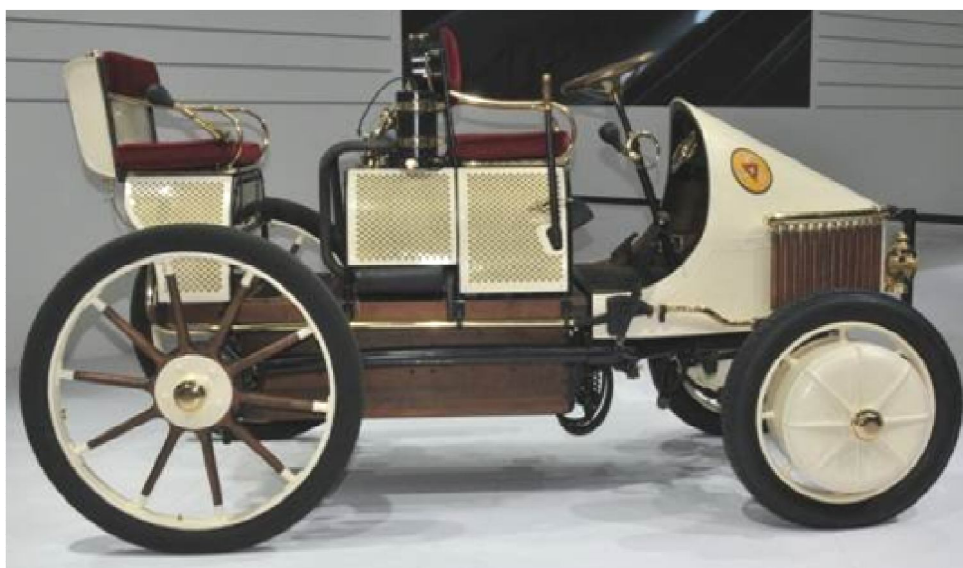


Figura 2-1: Lohner Porsche, recreació del 2011 (Porsche Museum)

Amb els anys, i ben entrats al segle XXI el transport s'ha acabat convertint en una necessitat imprescindible, com si es nasqués amb un dret adquirit de mobilitat forçada.



Figura 2-2: La llibertat de moviment segons Pau (RACC)

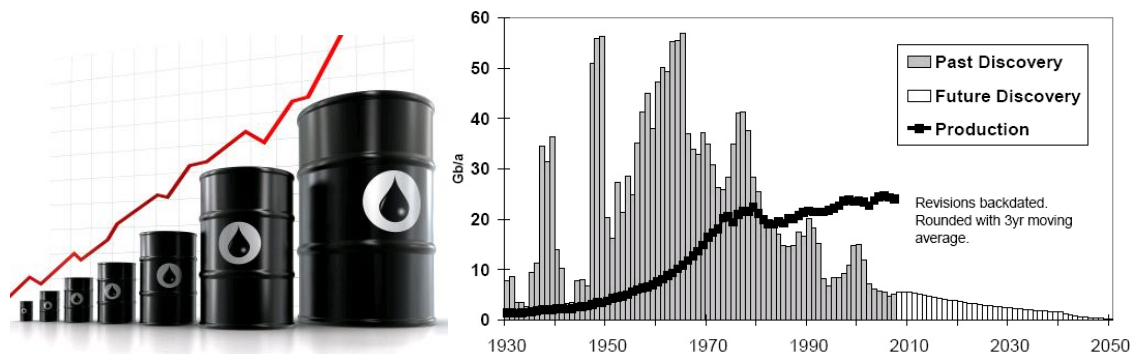
Actualment, i fent abús d'aquest suposat dret fonamental de mobilitat, els pobles han incrementat notablement la població, amb habitants residint lluny de tot en apartades urbanitzacions aïllades i consumint d'arreu, requerint el transport de tota mena de béns fonamentals (aigua, aliments) i serveis bàsics (metges, escoles, neteges) fins a les seves llars [P051].

I aquesta necessitat porta la pregunta associada de si es consumeix el que és imprescindible, el necessari o tot el que altres anuncien. Segons sembla, viure decantat de tot i passar llargues hores a la carretera, pagant la benzina que costa pujar i baixar el cotxe de la muntanya, és un símbol de benestar, encara que calgui agafar el cotxe més de dues hores per dia (passant més hores amb el vehicle que amb la família, segurament). Segons Alfonso Aranda (CIRCE-Unizar), els vehicles del futur haurien de ser més petits, modulars [P029], més reciclables i amb menys sistemes accessoris i consums auxiliars. I s'està fent just el contrari: la renovació del parc passa a ser cada vegada a més vehicles més grans i amb majors consums. Igualment Aranda comenta l'efecte "rebot" que pot tenir el vehicle elèctric: si el vehicle nou és més eficient i barat, pot ser que el consum de transport públic es redueixi dràsticament, disparant el consum energètic global.

Probablement l'actual model de mobilitat és obsolet. Tothom és conscient dels greus riscos als que s'exposa una persona a peu en caminar pel carrer, però amb fredor i inconsciència ningú pateix pel risc intrínsec d'estar a la carretera en tant nombrosos desplaçaments. Caldria posar de manifest l'excessiva i innecessària dependència del vehicle particular i l'increment massiu del parc automobilístic amb vehicles poc apropiats a les necessitats reals i proposar mètodes més eficients de transport.

Com diu l'enginyer Santiago Montero Homs [P058] el preu actual de l'energia és excessivament i artificialment barat (nota: el cost/preu just seria un ordre de magnitud major) i no afavoreix un ús racional dels recursos energètics. Només amb impostos s'arribarà a un consum racional. A més a més la producció local catalana és escassa i s'ha venut a capitals estrangers. Un exemple de la

rellevància de l'energia és que fins i tot el MIT de Boston l'ha considerat de prioritat estratègica.



Igualment, també caldria emfatitzar la forta presència de grups de pressió (*lobbies*) en el sector transport. Un dels països que juga millor les cartes és els EUA. Mentre d'una banda concentren un important pol petrolífer i industrial (Texas, Detroit) que mantenen fermament, d'altra banda manifesten que el vehicle elèctric no és de cap manera possible malgrat que hi inverteixen 25.000M\$ per any, donant lloc a importants empreses naixents com Valence Batteries, A123, Tesla Motors o Vectrix Motorcycles. I amb aquesta contradicció tan simple aconseguixen distreure l'atenció de tota la competència mundial, que no sap cap a on tirar, perduda en l'infinít univers que suposa l'evolució del transport.

Quan toqui canviar d'una tecnologia a una altra, els EUA tindran un allau de productes amb seu a Silicon Valley i amb fabricues a la Xina, Polònia i la Índia preparats per a ser venuts als innocents europeus, que estaran centrats en aspectes importants com el to de blau o groc que cal per pintar la bandera europea o si cal incrementar o no el nombre d'estels, mentre el seu teixit industrial i educatiu estarà tocant fons.

## 2.2 Peculiaritats del sector del vehicle

El component "producte" de l'automoció no és pas diferent a cap altre del mercat de consumibles corrent ja que, a grans trets segueix la mateixa estratègia de mercat (tradicional a Europa):

1. Concepció de producte nou
2. Esprèmer el producte fins al límit de la fidelitat del client (retocs d'imatge, conservar les despeses de manteniment a taller)
3. Re estilitzar el producte (fer-lo més gran, reutilitzant components d'anteriors models)
4. Mantenir el nom i incrementar preu de venda (pujar de segment)

Aquest cicle permet minimitzar el cost de desenvolupament de producte nou, ja que la paraula nou apareix a cada re estilització i no només al principi, quan el concepte neix. Malgrat ser una estratègia bona a curt termini, no permet cap mena d'evolució radical.

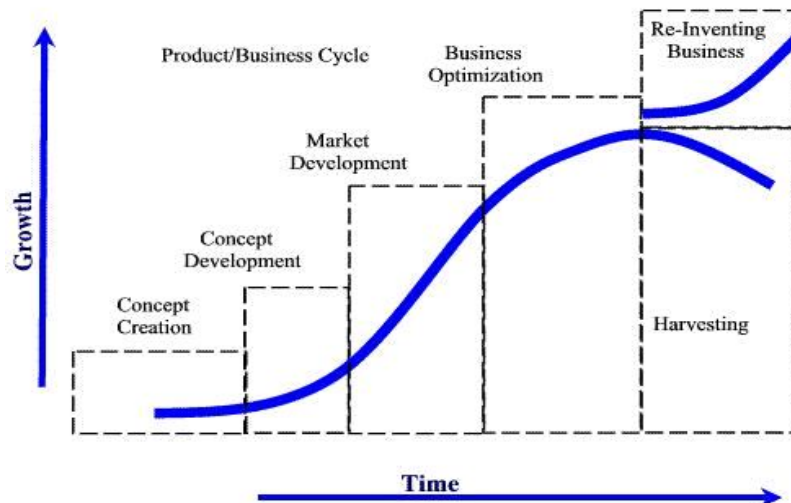


Figura 2-4: Cicle de vida d'un producte i l'eterna "reinvençió" del negoci automobilístic (<http://www.anomalousmaterial.com>)

Tot i que algunes empreses innovadores diuen que cal fracassar com a mínim en un 10% de les inversions, malauradament aquesta "por a l'error" està massa ben vista a Europa –i a Catalunya també la del "ja t'ho deia jo"–, i són pocs els emprenedors amb coratge per estar 15 anys aixecant un negoci fructífer, ja que s'educa als emprenedors amb aquest temor i s'enfoca de cara al benefici a curt terme sinó immediat. Igualment, el sector públic tampoc arrisca res, tot i el poder d'apalancament que té com a primer usuari tipus, exemplar i com a banc d'assajos pioner.

El sector automobilístic es caracteritza fortament per la presència de grans marques que desenvolupen i comercialitzen -algunes només munten- vehicles i un plegat de OEM de diverses dimensions, amb poc poder de negociació i sovint amb indústries situades costat a costat en un equilibri inestable. No obstant hi ha grans assembladors de vehicles (com Magna Steyr) que munten tota mena de vehicles per a qualsevol marca, encara que ningú coneix l'empresa, que resta rera la bandera de la marca comercial amb logotip sobre la carrosseria. El marge operatiu de les marques populars se situa per sota del 7%.

La forta concentració (ser pocs però grans mundialment, en oligopoli Toyota-GM), provoca que el sector no acabi mai optimitzant recursos ni baixant preus i que el producte estigui estancat de fa 100 anys, amb consums energètics bastant similars (el Ford T original consumia 15 litres als 100km, mentre que els nous no baixen dels 8 [P013]). A nivell territorial, la concentració es basa en la implantació de fàbriques (Almussafes, Martorell, Valladolid, Barcelona) que incentiven el consum local. De fet, l'estratègia als darrers anys ha anat avançant cap al desenvolupament de vehicles cada cop més grans, pesats i amb més accessoris consumidors d'energia (electrificació progressiva del vehicle, aire condicionat, rodes amples, grans volums exteriors, direcció assistida) [P061]. No obstant, l'acollida del mercat ha estat bona i avui en dia ningú rebutja finestres i seients elèctrics ventilats i calefactables, bo i no saber-los fer servir adequadament.

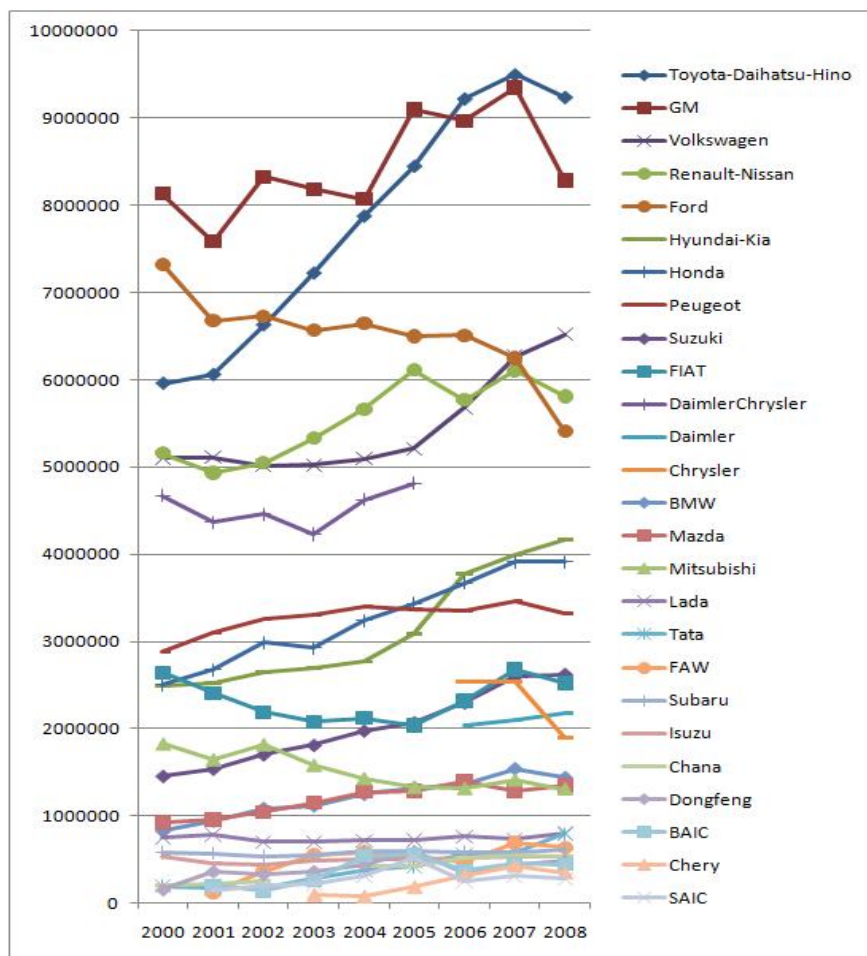


Figura 2-5: Producció de vehicles per marca mare (<http://www.mystd.de>)

Respecte l'electrificació creixent, el cotxe corrent ja porta incorporat bateria, alternador i uns 20 motors elèctrics, encara que no ens n'adonem ja que només un fa soroll i fum. Concretament parlem de 4 llunes, portes i portons, bombes d'aigua, oli, refrigerants, bombes de servofrè, 2 miralls, 4 netejadors i 2 bombes aigua, seients, volant, bomba direcció, aire condicionat, ventiladors, suspensions, i un llarg etcètera. A aquest fet hi hem d'afegir una tendència a vehicles "més grans que ahir, més petits que demà" [P065] només va semblar aturar-se durant la curta època dels PTV, 600 i el Biscúter (200cc, 75km/h, 260kg), mentre que als USA es tirava la casa per la finestra amb immensos Cadillac V8 (*the heartbeat of America*). Però els parèntesis són curts i sovint tanquen cicles.

Avui en dia podem veure com els vehicles "vells" són re nombrats i comercialitzats de nou: l'antic *Golf* es passa a dir nou *Polo* i el *Polo* es passa a dir nou *Lupo*, el *Clio* antic se li diu *Twingo* nou i a l'*A4* antic se li diu *Octavia* o *Exeo* [P063]. Tot novetats, és clar, però amb un punt comú: majors dimensions, majors consums, majors despeses per a la mateixa funció: transport (moltes vegades unipersonal o amb poca càrrega). Les plataformes de producte creixen amb l'edat de l'usuari, de tal manera que als 18 anys l'usuari d'un VW Golf té un vehicle i als 45 segueix fidel al Golf, bo i ser una variant familiar. La necessitat a satisfer no ha crescut pas. Això es constata en un increment de massa de quasi un 20% en els darrers 10 anys en el vehicle utilitari mitjà, i un increment del 1500% del parc automobilístic català els darrers 50 anys. Els intents de reduir la massa [P062] [P071] han acabat en fracassos [P040][P092] provocats, com el cas del VW Lupo 3L [P040] que costava 14k€ de l'any 1999.

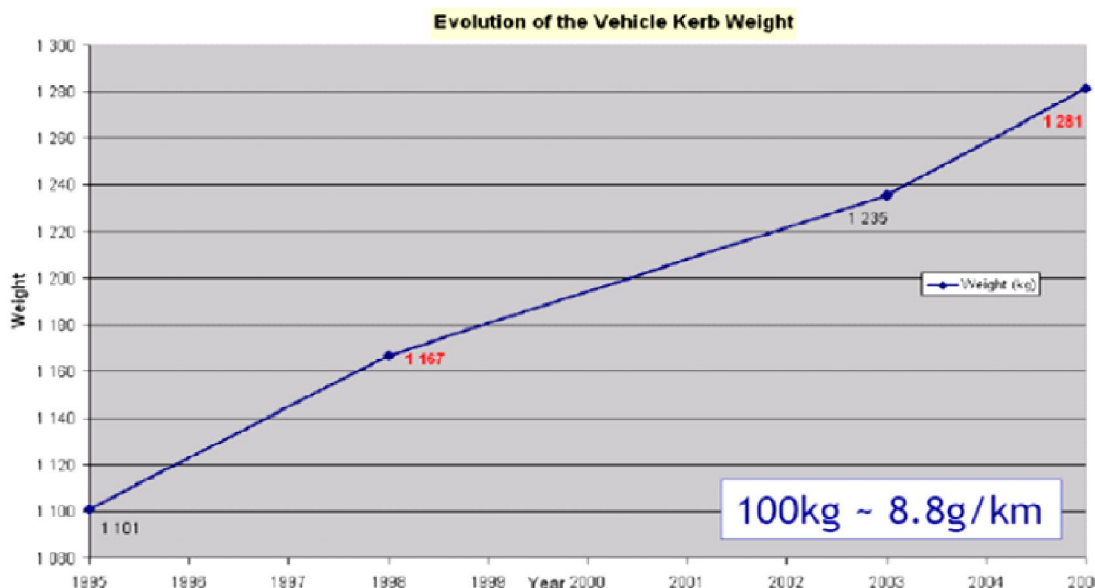


Figura 2-6: Evolució de la massa dels vehicles 1995-2005 (STA)

Una altra de les causes d'aquest estancament és que segons les autodenominades *grans* escoles de negoci resulta absurd invertir mentre el model de negoci funciona. Però cal estar sempre preparat per quan el model de negoci canviï, cosa que ha passat per alt als mercats europeus, que sempre anuncien que "precisament ara falten 10 anys per tenir a punt el vehicle del futur". I es diu com si no calgués cap evolució intermèdia. A l'altre costat del petrodòlar i de l'Atlàntic les coses es veuen diferent, encara que diuen fer el mateix. A Europa hi ha patents en propietats intel·lectuals dels gegants automobilistes i del petroli que garanteixen 10 anys de supervivència, però no asseguren pas el futur.

La confirmació del declivi del vehicle lleuger [P066] ha estat anunciada al 2008 a Catalunya, en una donació milionària a VW per manufacturar un SUV a Martorell i una altra a Renault-Nissan, a més de donacions milionàries (200M€ acumulats 2007-2009) per plans de recerca que mai han consolidat el vehicle ecològic de SEAT.

Per fomentar la innovació i la recerca, els governs han de jugar amb la fiscalitat dels combustibles i la inversió en investigació, penalitzant amb impostos als consumidors abusius de combustible i emissors de CO<sub>2</sub> i beneficiant a PIMES i emprenedors (abans que les universitats o centres de recerca), en comptes de penalitzar a tothom i beneficiar als grans explotadors del sistema energètic actual. És l'abús de transport el gran contaminant, el causant d'embussos i de reducció de la productivitat, no l'eficiència del vehicle per si sol [P085].

Tal i com està ara a gran part d'occident, la recerca queda encasellada en grans monopolis i no escampada petites companyies, en tots els casos carregant al producte ofert els costos de desenvolupament de productes innovadors que mai veuran la llum per conveni. A finals de 2009 empresaris i càrrecs de FEMCAT han anat al MIT però no han entès per què tenen tants spinoffs i emprenedors (l'estudiant es forma en laboratoris de recerca, esdevé jove graduat amb coneixements innovadors i un emprenedor potencial a les incubadores del centre). Per no experimentar, tanquem la porta als descobriments accidentals, a la trobada de nous usos a invents ja existents (serendípia), o perdem el tren en no donar suficient modularitat a les solucions actuals (per exemple les 7 capes del model OSI, que permeten treballar i avançar cada capa independentment) per donar opcions de millora. Ans el contrari: s'imposen monopolis (d'homologacions, d'aigua) al grup d'inversió Carlyle.

Al marge del rol governamental, hi ha el càrtel del petroli al darrera (carregant contra la CARB i tots els ZEV, ULEV, etc.). Anys enrere es va pactar un full de ruta, amb dates i tecnologies a usar segons cada explotació, començant per l'extinció progressiva de la benzina i el dièsel, la transició a bio combustibles, desenvolupament d'híbrids amb motor principal de benzina, bateries amb motor



principal elèctric i *range extension* amb bateries de liti i finalment elèctric pur amb l'encís de la cel·la d'hidrogen [P022] [P067][P068](que manté l'addicció al gest d'omplir el dipòsit).



Figura 2-7: El gest malaltís de carregar i estar 1 minut a la benzinera ha de seguir sent un hàbit (<http://www.businessgreen.com>)

Els bio tenen cicles de producció excessivament llargs, amb plantacions llargues i fermentacions i destil·lacions successives, que suposen inversions negatives d'energia (un litre de bio no compensa energèticament produir-lo). Els mateixos fabricants s'encarreguen de guiar les exigències del consumidor de combustible cap al territori on els és més favorable: el luxe i l'ostentació de vehicles per davant de l'eficiència i la contenció de recursos.

Durant 100 anys no s'ha millorat la densitat energètica de la benzina, i aquest és un punt fort on atacar (pujar dels 44MJ/kg o 12kWh/kg, que a la sortida de l'eix motor es queden en 4,5kWh/kg en el millor dels casos), i no mirar tan sols el rendiment dels motors tèrmics. Igualment caldria fer-ho amb l'escassa capacitat de bateries i piles (0,6MJ/kg o 0,17kWh/kg).

Les piles presenten l'inconvenient de no tenir disponibles benzineres (o punts de recàrrega ràpida) ni el requeriment propi d'un manteniment de taller. La tarificació elèctrica que ara sembla ser un mal menor aviat pot emprendre el seu cost just, ara (a 2010) que ha passat a mans estrangeres que no acceptaran el dèficit tarifari [P055][P078] ni les multes compensatòries. A més, el rendiment dels acumuladors poques vegades arriba al 80% perquè tenen pèrdues substancials de capacitat en funció de la temperatura externa i del cicles de càrrega i descàrrega. La mateixa xarxa de distribució també té pèrdues elèctriques a comptabilitzar (un 30%), i unes emissions al centre de producció que ronden els 0,75kg CO<sub>2</sub>/kWh en centrals de carbó o de 0,26kg CO<sub>2</sub>/kWh en gas natural. Les dades de REE valoren sobre 0,21kg CO<sub>2</sub>/kWh el mix total espanyol. L'empremta i tendència de nuclears i renovables no és clara [P006] [P056].



Figura 2-8: Saturn EV-1 i Acabion ([papermag.com](http://papermag.com) i [acabion.com](http://acabion.com))

Com a exemples de comercialització prematura, GM va llogar molts vehicles anomenats Saturn EV-1 que després van ser retirats i destruïts. Poques veus intenten millorar l'aerodinàmica [P001] o reduir la mida dels vehicles actuals, com ara el Dr. Uwe Grebe (GM), Axel Friedrich (Agència mediambiental alemanya) o el Dr. Robert Fischer (AVL) [P081]. Una paradoxa es pot trobar als USA amb Tesla o alemanya amb els Acabion.

### 2.2.1 L'energia a Catalunya

Tenir una dependència del petroli menor seria el millor per a Catalunya, donats els seus recursos naturals. Garantir que si es tanques l'aixeta de l'or negre els danys serien menors és un repte i ha de ser assolit el més aviat possible. L'autonomia/independència energètica és un bé estratègic, com demostren els fets de durant la vaga de transports de 2008, quan els combois de benzina marxaven escortats pels cossos policials i militars. Quatre anys més tard, no sembla que ningú doni el valor que toca a la dependència del petroli i que tothom ho ha oblidat tot plegat.

D'altra banda tenim el fluid elèctric. No es volen línies d'alta ni mitja ni baixa tensió, es volen preus més baixos i es venen les empreses del sector a mercats foranis. La xarxa es manté poc i es mesclen conceptes com la súper xarxa de corrent contínua per exportar energia eòlica mentre s'alcen pregàries per tenir una línia de MAT amb els reactors nuclears francesos. Es navega sense tenir rumb fix, i en són una prova els plans MOVELE i LIVE d'electrificació del parc automobilístic, al que cal crear un eix vertebrador a llarg termini, ja que importar vehicles foranis a preus abusius o posar endolls de 3000€ al carrer amb 18 tipus de lector de tarja diferents no solucionen pas la mobilitat. La volatilitat dels preus energètics a curt termini no ha de fer perdre de vista l'estratègia a llarg terme.

Actualment la millor alternativa nacional a la benzina és la benzina, mentre s'ignora el fort potencial de l'abandonada indústria forestal. La indústria minera sembla poc viable per l'escassetat i la poca qualitat de la matèries primeres del subsòl català.

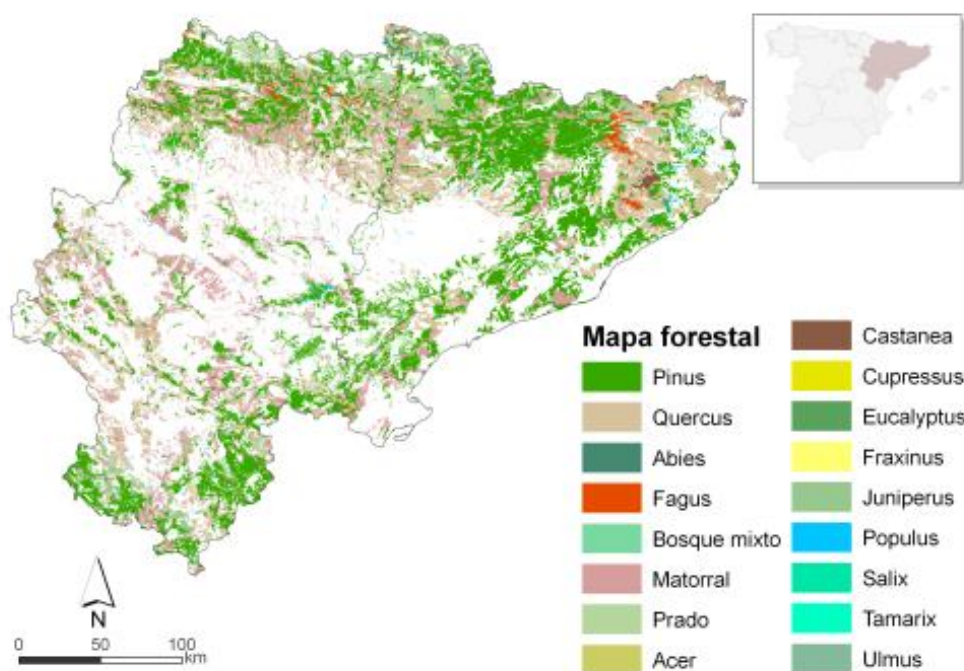


Figura 2-9: Mapa forestal del nord-est peninsular (<http://gfn.unizar.es/renovables>)

Culturalment i social s'accepta i es potencia el fet d'exhibir grans vehicles. Propiciar un canvi de valors cap a millorar les eficiències (i decreïxer els desplaçaments) passa per penalitzar conductors contaminants i premiar els ecològics, així com compensant les necessitats tributàries de mobilitat.

Cal tancar localment el cicle del carboni i emfatitzar el compliment dels acords mundials d'emissions, amb especial menció a la disposició dels béns al final de vida útil. El vehicle és un residu que ha de passar primerament per un allargament de la vida útil i segon per un disseny enfocat clarament al reciclatge. Els mercats de drets d'emissió de CO<sub>2</sub> són el nou mercat de venda d'èter: especulació pura.



## 3 ANÀLISI DEL CAPITAL HUMÀ CATALÀ AL VE

Com bé s'ha vist a l'apartat sobre l'estat de la qüestió, els VE han vingut de bon començament recolzats per pioners, principalment de països amb més tradició científica i automobilística que Catalunya. No obstant, podem veure exemples propers com el PFC de Pedro José Talavera [U12], que continua un projecte iniciat pel taxista Domingo Bermúz Aguilar uns anys abans, de forma totalment altruista i autofinançada i que malauradament han tingut una repercussió mínima fora del món acadèmic.

### 3.1 Històric

La millora dels coneixements sobre electromagnetisme ha estat fonamental per a l'avenç en el camp dels motors. És ben sabut que els grecs coneixien ja l'electricitat estàtica (d'aquí que hi juguessin amb l'ambre, en grec *elektron*) i el magnetisme (propi de les pedres de la ciutat grega de Magnèsia) i s'especula sobre si els mesopotamis també la coneixien en forma de *pila de Bagdad* al segle 3, però fins 2000 anys més tard, pocs havien millorat escassament el camp.

El 1800, Alessandro Volta amb la seva pila revolucionava el món, oferint una solució a l'emmagatzematge i transport d'energia potencial elèctrica. El 1831, Faraday descobreix com generar corrents per inducció magnètica i viceversa, culminant una sèrie d'estudis sistemàtics iniciats segle i mig abans. Els grans desenvolupaments però, no arriben fins a la primera revolució industrial (telègraf, Morse, 1833). El serbi Tesla el 1882 inventa el camp magnètic rotatiu i el 1887 crea el motor asíncron, fent possible la generació i consum de corrent altern, seguit de prop per Mikhail Dolivo-Dobrovowsky el 1888. Altres milloren la generació, inventen diferents imants permanents artificials i es posen en marxa els primers motors-accionadors (consumidors elèctrics), fins al punt que Lenin arriba a definir el socialisme com "la suma de l'electrificació i el poder dels Soviets" [1001].

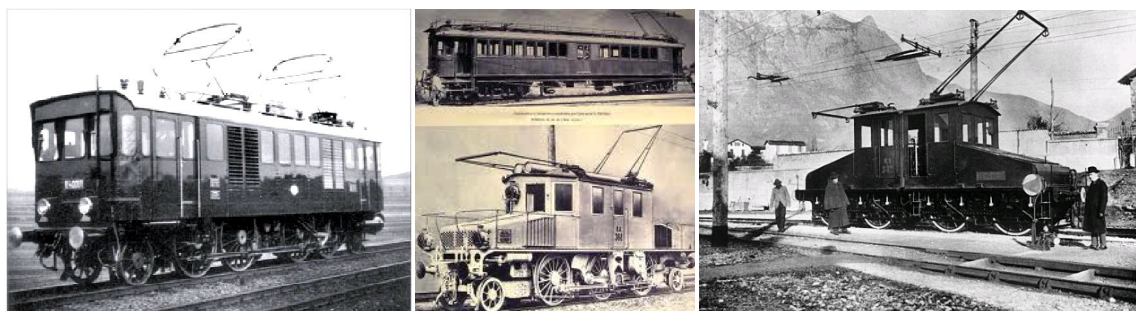


Figura 3-1: Màquines tractores de Valtellina, les primeres elèctriques (wiki commons)

L'any 1894 apareix la primera locomotora elèctrica a Hongria (Valtellina). Estava alimentada per una catenària a 15Hz i 3000V, amb motors asínctons trifàsics i una velocitat punta de 70km/h, dissenyada per Kálman Kandó.

### 3.2 Present

Durant el darrer segle, el consum i la generació elèctrica s'han disparat desmesuradament, així com el nombre de centrals generadores, primer de carbó fins als anys 50 (<100MW), després de petroli als 70 (<500MW) i hidràuliques (<100MW), als anys 80 nuclears (2GW) i actualment, de naturalesa

incerta (gas, solars, eòliques, <500MW) ja que no es disposa de cap altre recurs que permeti mantenir el nivell de malbaratament energètic actual. Així tampoc s'ha incrementat pas en la mateixa proporció ni el nombre, ni la qualitat, ni la orientació de les formacions en els camps elèctric ni electromecànic i que han estat, són i seran requerits.

A continuació es presenta una relació –orientativa, que no pretén ser exhaustiva- de les necessitats i els estudis que s'ofereixen a al 2008 a Catalunya relacionats en la mesura que s'ha considerat escaient amb el vehicle elèctric.

Entre les necessitats a cobrir podem trobar:

- Sistemes marítims i de servei embarcats (propulsió, generació, sistemes d'alimentació ininterrompuda SAI)
- Sistemes no embarcats (grues, maquinaria pesada de port) [P017]
- Sistemes terrestres embarcats (propulsió)
- Sistemes terrestres no embarcats (generació estàtica, sistemes d'alimentació ininterromputs)
- Sistemes aeris de servei

Sistemes terrestres fixos i mòbils:

- Turboelèctrics (carbó, gas natural, petroli, nuclear, residus, concentrador solar-vapor, subsòl)
- Motogeneradors (conjunt motor tèrmic i generador elèctric)
- Hidroelèctrics
- Eòlics
- Fotovoltaics
- RTG (generador termoelèctric de radioisòtops) - Seebeck (termoparells)
- Piles i bateries (recarregables o no – secundàries o primàries)
- Piles de combustible

Sistemes aeroespacials:

- RTG
- Turbogeneradors i concentradors solars (no validats encara)
- Fotovoltaics
- Piles de combustible (metanol, H<sub>2</sub>, Gas natural reformat)

Aquestes necessitats responen principalment a la demanda de consumidors majors com:

- Indústria, investigació i processos
- Transport ferroviari (locomotores dièsel-elèctriques o elèctriques)
- Telecomunicacions (Google hi està entrant)
- Serveis mèdics, domèstics, d'alimentació i hostaleria

En sistemes embarcats, gran part del consum es dedica a:

- Propulsió
- Sensors i actuadors
- Sistemes de control, adequació i regulació
- Comunicacions

Així doncs, sembla raonable enfocar la tesi cap al camp de la generació elèctrica, i en particular cap

al transport, ja que suposa segons els darrers informes de la generalitat fins al 60% del consum energètic total de derivats del petroli (causants de les emissions de CO<sub>2</sub>).

Al territori català trobem una sèrie de formacions que seria interessant revisar i ampliar detalladament durant els propers anys.

### **3.2.1 Formacions superiors**

#### **Enginyeria Tècnica Superior Industrial (segons pla 94, extingit)**

Troncals

22802 Electromagnetisme

23702 Electrotècnica

24807 Tecnologia elèctrica

25702 Tecnologia energètica

Optatives

22302 Taller Elèctric

22403 Teoria de Circuits

23353 Fonaments de Màquines Elèctriques

23455 Ampliació d'Electrotècnica

23465 Vibracions mecàniques

24303 Sistemes Elèctrics de Potència

25304 Electrònica de Potència

25305 Aparamenta Elèctrica

25311 Bombes i Instal·lacions de Bombatge

25312 Turbines i Instal·lacions Hidroelèctriques

25417 Assaig de Màquines

25418 Centrals Nuclears

25419 Manteniment de Turbomàquines

#### **Diplomatura de màquines navals**

Grau en enginyeria de l'energia

Grau en enginyeria elèctrica

Enginyeria tècnica industrial en electricitat

Enginyeria tècnica naval, especialitat en propulsió i serveis del vaixell

Com es pot veure, es cobreix en part les necessitats en graduats superiors pel que respecta a energia i consum, encara que no tant la pròpia generació i regulació.

### **3.2.2 Formacions mitges: CFGS, CFGM i PQPI**

#### **Cicles Formatius de Grau Superior**

Instal·lacions electrotècniques (GS)

Sistemes de regulació i control automàtics (GS)

Supervisió i control de màquines i instal·lacions del vaixell (GS)

Manteniment d'equips industrials (GS)

**Cicles Formatius de Grau Mitjà**

Instal·lacions elèctriques i automàtiques (GM)

Manteniment de vaixells d'esbarjo i serveis portuaris (GM)

Manteniment de maquinària d'obra pública, logística i manutenció de càrregues i agrícola (GM)

Instal·lació i manteniment electromecànic de maquinària i conducció de línies (GM)

Operació, control i manteniment de màquines i instal·lacions del vaixell (GM)

**Programes de Qualificació Professional Inicial**

Auxiliar en operacions de muntatge d'instal·lacions electrotècniques en edificis (0800-03)

Auxiliar en muntatges d'instal·lacions elèctriques i d'aigua i gas (0800-02)

Auxiliar de reparació i manteniment de vehicles lleugers (0500-04) (component electromecànica)

Caldria notar que en formacions mitges i superiors hi ha una evident mancança sobre el disseny de motors, generadors ni manteniment. A més enlloc es mencionen els futurs sistemes de generació ni consum (Fotovoltaic, eòlic, concentradors, bateries, xarxes).

**3.3 Perspectives**

S'observa que a nivells formatius entremitjos no hi ha cap capacitat professional suficient per a satisfer les necessitats més imminents (es satisfà les justes per manteniment d'ascensors i piscines).

Cal incrementar la qualitat formativa dels antigament denominats "encarregats" de manteniment, un rang professional que cada vegada es veurà més obligat a tenir coneixements de màquines elèctriques i sistemes de generació, control i consum de gran potència. Com a primer pas es podria iniciar una optativa a cicle FP a partir de PQPI, la base del sistema educatiu, en un programa basat en la descoberta dels components i circuits:

- Elèctric – Per on passa el corrent
- Magnètic – Per on circula el flux magnètic i com es comporten les línies de camp
- Tèrmic – Caracterització adiabàtica, isotèrmica i transitòria del sistema
- Mecànic – Càlcul i dimensionament de rodaments, xapes i materials en condicions nominals i límit de temperatura i esforç
- Dielèctric – Per on no ha de circular el corrent elèctric

I amb més detall, caldria una millora docent i professional en els camps de:

- Generadors: síncrons bobinats i d'imant permanent, de gàbia d'esquirol. Perills d'altres tensions, guspises i intensitats en CA i CC. Règims de neutre.
- Anàlisi i Control: transformadors, electrònica de potència, variadors de freqüència, contactors, relès i proteccions. Commutacions estrella/triangle en generador i consumidor.
- Consum i Mesura: motors asíncrons, motors síncrons, bobinats, imants permanents, gàbies d'esquirol i motors lineals. Sondes de temperatura, de posició i corrent (Hall).



## 4 ANÀLISI DE LA CADENA ENERGÈTICA A L'ESPAI

El més important per al disseny basat en l'eficiència [P086] és tenir coneixement dels requeriments energètics i de les diferents opcions de subministrament. Com a punt de partida del programa de doctorat, entro en contacte amb el Professor Doctor Ricard Bosch des de l'Agència Espacial Europea (ESA), on treballava al febrer de 2009 i on havia provat un dels primers prototips del cotxe elèctric Mitsubishi i-Miev. Havent treballat amb el Sr. Octavio Camino a la ESA, el cap del control de la missió SMART-1, considero oportú prendre relleu del seu coneixement acumulat al llarg de la missió i portar-lo a la terra en forma de vehicle elèctric.

Des del centre de control de satèl·lits on treballava es gestionava una flota de 15 naus, algunes en vols de formació (com la missió Clúster d'anàlisi de la magnetosfera terrestre, els anells de Van Allen i l'ona de xoc provocada per la radiació solar), i d'altres en vols singular (XMM Newton, Herschel, Planck, Integral, GOCE, Rosetta) controlant els paràmetres de posició, seguiment, recepció i tractament de dades, estat de salut, activitat i instruments actius. Gran part dels experts en control de satèl·lits havien hagut de passar moments crítics, recuperant el sistema de situacions on s'hauria donat el satèl·lit per perdut i que per tant, coneixien les estratègies per gestionar un vehicle elèctric – si bé de forma remota- molt abans que es despleguin tals sistemes per al transport terrestre a gran escala.

### 4.1 Tecnologia aeroespacial

A tall d'exemple, prenc per referència aquesta missió pionera al món de l'espai, un cop acabada la seva vida útil i celebrat el final de missió. La nau SMART-1 [I002], dedicada a investigar la lluna i a provar noves tecnologies, va passar des d'una òrbita de geostacionària de transferència (GTO) fins a la injecció lunar en un període de 14 mesos, únicament equipat amb panells solars i bateries que feien funcionar un canó de plasma. La missió va ser llançada el 27/9/2003, injectada en òrbita lunar el 15/11/2004 i destruïda en un impacte controlat a la superfície lunar el dia 7/9/2006.

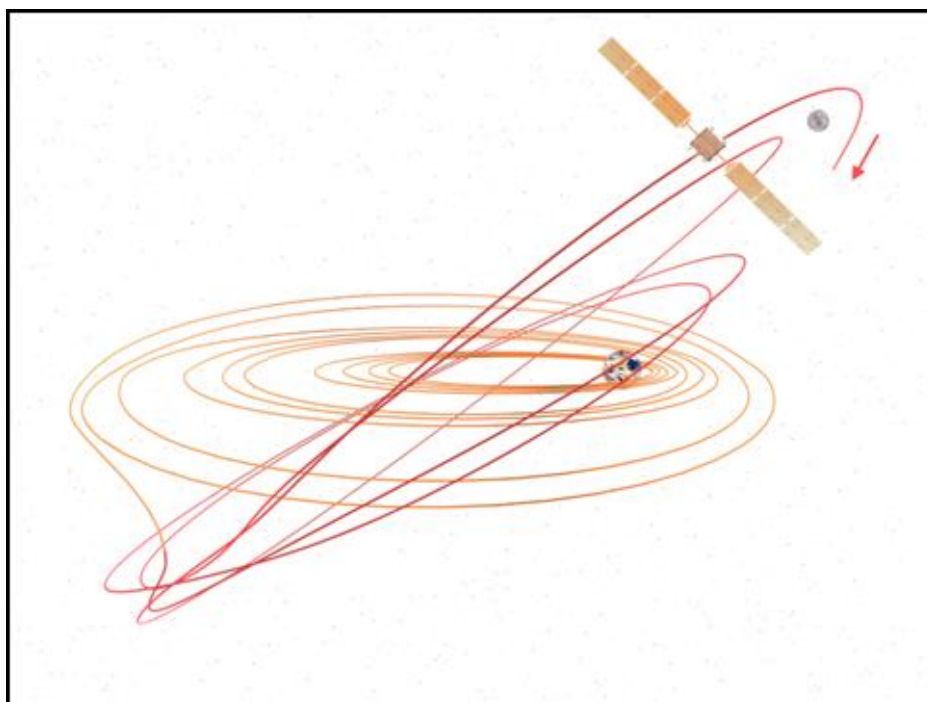


Figura 4-1: Trajectòria d'injecció de l'SMART-1 a òrbita Lunar (ESA)

El que fa especial aquesta nau és:

- La seva mida reduïda (Small Missions for Advanced Research in Technology -SMART-, 366kg al llançament en 1 metre cúbic i només 19kg en instruments de mesura).
- Disposar d'un sistema de propulsió elèctric (Plasma d'ions de xenó, 70mN d'empenta)
- Muntar bateries d'ions de liti per primer cop.
- Equipar panells solars d'alta eficiència (10 metres quadrats de GaAs en comptes de Si, 1,9kW).

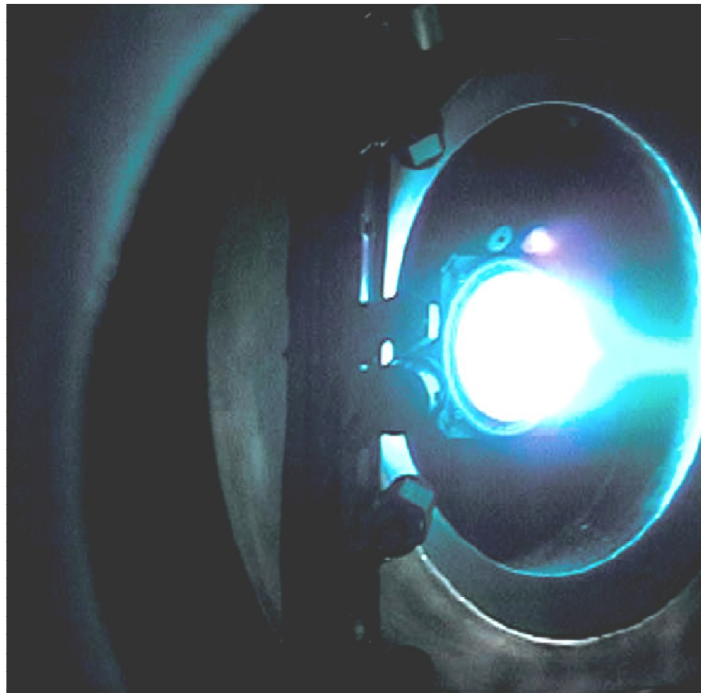


Figura 4-2 El sistema de propulsió d'ions de xenó en un banc de proves terrestre (SNECMA)

Per tal de conèixer amb més detall les estratègies energètiques i de control de la nau, començarem fent una breu auditoria energètica de la SMART-1, presa de l'informe de final de missió i de múltiples converses amb el cap d'operacions de la nau durant l'estada a ESOC.

## 4.2 Sistema de propulsió elèctrica

---

El sistema es compon de tres unitats: el sistema de gas (82,5kg Xe), el propulsor i la interfície de control i comunicacions. El mecanisme d'orientació de la tovera es compensa amb el volant d'inèrcia controlat per una centraleta i 8 toveres d'hidrazina de 1N d'empenta.

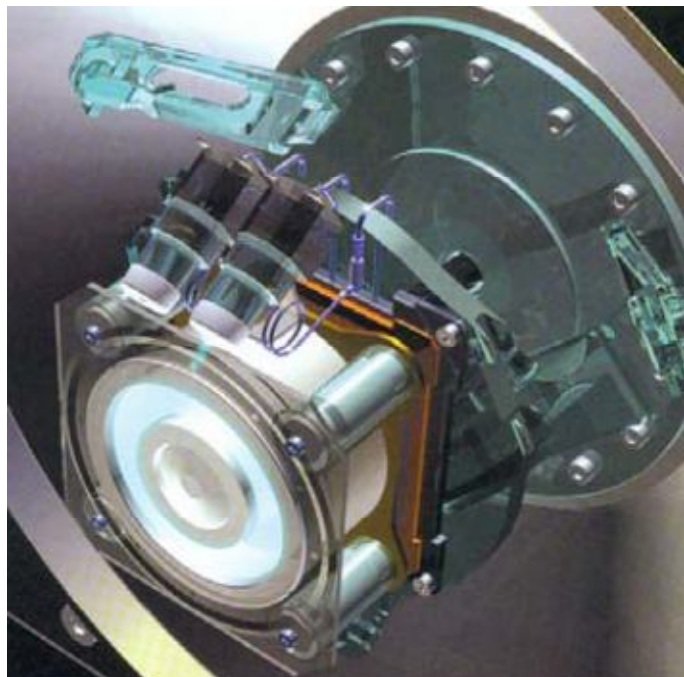


Figura 4-3: El propulsor elèctric del Smart-1, SNECMA PPS®-1350-G (SNECMA)

Per tal de poder funcionar amb una potència solar variable durant tota la vida útil del satèl·lit, el sistema de propulsió ha estat preparat per tenir 117 nivells de potència entre 462W i 1190W (un marge de regulació del 70%). Una macro inicia la seqüència d'arrencada automàtica, escalfant el càtode, impulsant les bombes de gas i carregant la pulsació inicial.

Per a millorar la fiabilitat, els components crítics de la cadena estan duplicats (vàlvules, cables de potència, càtodes, escalfadors).

Un sistema de monitorització, mesura i aturada segura també està encastat per tal de garantir la màxima fiabilitat i minimitzar els danys en cas d'avaría o malfunció.

### **4.3 Subsistema de potència**

---

És l'encarregat de gestionar de manera eficient l'energia a bord de la màquina. Controla l'orientació dels panells solars, la temperatura de cadascun dels subsistemes, l'emplenament de bateries i mesura els estats de degradació.

### **4.4 Disseny, tecnologia, autonomia**

---

Un satèl·lit ha de ser autònom per definició i alhora ha de ser operable també des de terra en cas d'emergència. Per tant, té un autòmat amb una jerarquia de tasques prioritàries, amb l'objectiu d'acomplir la missió i funcionalitat adients on, en primer lloc hi ha el control remot des del centre d'operacions.

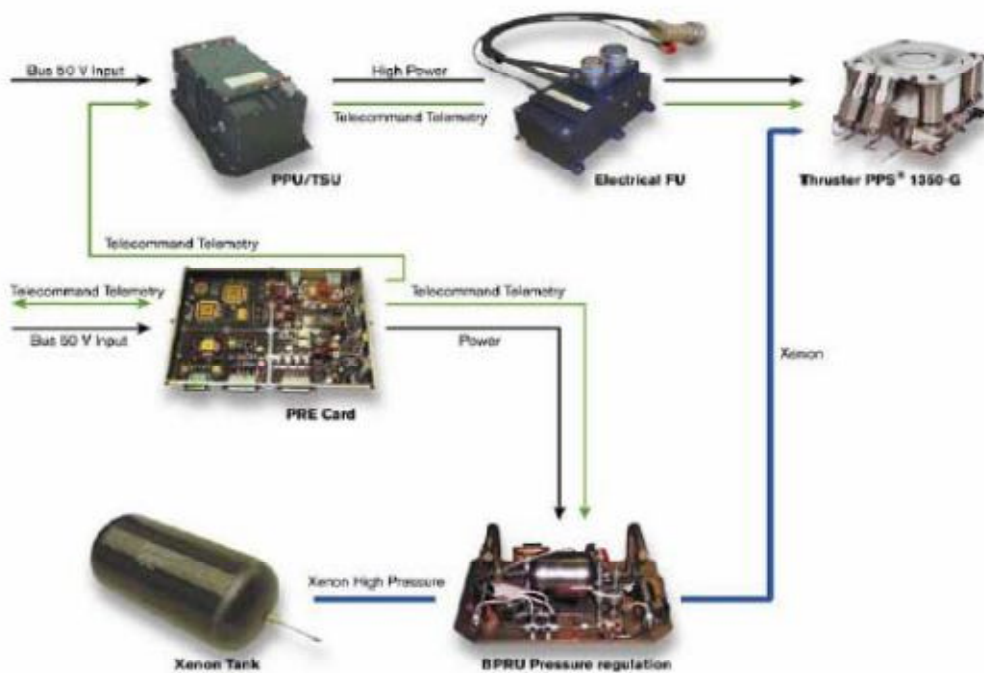


Figura 4-4: Sistema elèctric de potència, subsistema de propulsió (ESA)

#### 4.4.1 Bus de potència

La nau disposa d'un Bus regulat a 50VDC constituït pels següents elements:

- Una matriu de panells solars, en dues ales de 3 panells solars
- Un sistema de gestió de bateries (BME), consistent en cinc mòduls de gestió de bateries idèntics
- 5 bateries d'ions de liti, amb una capacitat mínima de 135Wh BOL (inici de vida)
- Una unitat de condicionament i distribució elèctrica composta per:
  - Condensador del bus principal (MBC)
  - Amplificador d'errors principal. Ponderat per majoria de 3 (MEA)
  - Control de domini (DOM)
  - 40 Controladors de baixa potència d'estat sòlid (LPSSPC)
  - 1 Controlador d'alta potència d'estat sòlid (HPSSPC)
  - 1 Controlador principal de potència (MPC) incloent la lògica de supervisió de la plataforma
  - 1 Resistor shunt de seguretat (Crema d'excedents per resistència)
  - 12 Resistors shunt dels panells solars
  - 1 Mòdul per a la interfície de control (PPIM), que permet connectar el sistema de propulsió directament al bus principal en cas de fallida del HPSSPC.

L'estabilització del bus principal es basa en la tècnica S3R (regulació per commutació seqüencial del shunt) ajustada segons la utilització del shunt resistiu. Per solucionar el problema de capacitàncies dels panells de GaInP2/GaAs/Ge sense sobrepassar el corrent màxim de l'anell

col·lector (BAPTA) ni tenir excés de dissipació dins de la unitat de control i distribució de potència (PCDU), el shunt resistiu s'emprava només durant la insolació directa.

El shunt resistiu tenia dues finalitats:

- És necessari en cas de fallida d'alguns dels panells solars, evitant l'aturada dels mateixos en segons quines circumstàncies (eclipsi d'una cel·la).
- És el darrer shunt utilitzable en cas d'insolació directa per fer l'ajust fi de tensió del bus principal. Els resistors estan físicament ubicats darrera de cada ala de panells solars (2) i a sobre de la coberta del cos principal de la nau (tèrmicament desacoblat).

#### **4.4.2 Bateries de liti**

Els 5 blocs BME amb les respectives bateries de liti han estat emprades com a component dels 3 règims de control (insolació, penombra i eclipsi) del bus de 50V regulats en insolació directa i en eclipsi. Durant la insolació el bus es regula per un sistema de majoria de 3 (mitjançant dades de l'amplificador d'error del PCDU i els S3R). Durant la penombra i eclipsi, quan no hi hagi suficient potència solar per mantenir la tensió del bus, el sistema desconnectarà càrregues per reduir la demanda. Si la tensió és suficient, el programa d'eclipsi funcionarà a règim nominal.

El rang de tensions del MEA es divideix en tres regions, una per a cada situació de les anteriorment esmentades.

#### **4.4.3 Operacions en insolació directa**

Com s'ha dit, en insolació directa, el corrent dels 12 panells solars alimenta els shunts i el corrent regulat es filtra pel condensador principal. Un shunt resistiu tolerant a fallades és emprat com a sistema principal de regulació. En cas de sobrepassar els límits dinàmics de càrrega d'un shunt, la commutació amb el següent panell es porta a terme i se segueix amb la regulació.

El procés de connexió té una histèresi que limita la freqüència màxima de commutació i les pèrdues per commutació resulten difícils de detectar a la telemetria.

Respecte al sistema de bateries, un carregador individual s'assigna a cada cel·la de manera que es subministra una càrrega constant fins a l'estat de càrrega completa (EOC), a partir d'on es manté la flotació de les bateries.

#### **4.4.4 Operacions en eclipsi**

En eclipsi, l'energia es pren de les 5 bateries d'ions de liti. Els sistemes de càrrega i descàrrega equilibrats (BCR i BDR, respectivament), es controlen mitjançant els 5 BME i operen sobre una única bateria cadascun. Les comandes (sol, eclipsi, *reset*, funcionant) a les BCR i BDR han estat traçades juntament per la part analògica-digital de les unitats BME, amb línies de subministrament individuals per evitar fallades en cascada. La màxima potència de sortida es limita a 400W (10 minuts) a tensió de 50V. Cada BME monitoritza les corrents de descàrrega sota la comanda originada al PCDU. Per sota de 2,9V es talla la cel·la per evitar descàrregues profundes.

Una descàrrega de fins a 1,8V seria possible deshabilitant el perfil de tall del BDR, mentre el BME encara mantingués l'alimentació per un DC/DC. Per sota de 1,8V la lògica de comandament del DC/DC s'atura i només permet el pas de 1,8mA per cel·la.

El MPC té tres canals d'adquisició de dades i un sistema de comandes. Mana sobre els BME i SSPC, i recull telemetria de manteniment del sistema. També conté lògiques de control actives de l'estat de salut de la nau. Altres funcions del MPC són: gestió de voltatges baixos, arrencada seqüencial i monitorització de la telemetria auxiliar.

#### **4.4.5 SSPC**

Els controladors de potència d'estat sòlid (SSPC) muntats a la PDCU són utilitzats per:

- Protegir el bus de fallades a la plataforma i els instruments
- Suportar i controlar els transitoris del bus durant les connexions de càrregues
- Selecció i connexió de les càrregues del bus

Els 3 LPSSPC tenien sobrecorrents màxims de 1A, 2A i 3A respectivament. El HPSSPC dedicat exclusivament al sistema de propulsió tenia fins a 30A de sobrecorrent tolerable.

#### **4.4.6 Shunts dels panells solars**

Els shunts dels panells solars servien per cremar els excedents d'energia de les diferents seccions de les ales per regular la tensió del bus principal.

Els shunts es controlen digitalment pel controlador de domini i tenen només les posicions de funcionament o aturada. El sistema d'alimentació era tolerant a curtcircuits dels shunts, que podríem provocar la connexió descontrolada d'un panell al bus. Els shunts han estat també dissenyats per tolerar les capacitàncies dels panells i les inductàncies del cablejat que els connecta. Cada secció de panells tenia una capacitat de 4,5uF, i per tant es mantenia una freqüència de chopper baixa per fer les commutacions de forma eficient.

#### **4.4.7 MPC**

La finalitat del MPC és de ser l'interpret de la PCDU, controlar la seqüència d'arrencada, protegir de subtensions i supervisar el bus CAN i el controlador de la nau. Externament es comunica a la nau via CANbus, amb telecomandes per polsos i sistemes de manteniment (*housekeeping*). Alhora rep senyals analògiques-digitals de monitorització i telemetria.

#### **4.4.8 Panells solars**

El sistema de panells solars empra cel·les d'alt rendiment *TEC1* de triple unió tipus GaInP2/GaAs/Ge.

La potència màxima es troba propera als 1850W a l'inici de vida (BOL). L'evolució és a la baixa al llarg de la missió.

La concatenació de 98 etapes s'ha fet per tal de mantenir un nivell mínim de potència sobre un ampli rang de temperatures (+/-100°C) inclòs el periluni. Al principi de vida, la degradació ha estat majoritàriament deguda a la radiació experimentada durant els successius creuaments dels anells de Van Allen, resultant finalment inferior a la prevista.

## 4.5 Subsistemes

Tot seguit passem a introduir la problemàtica dels eclipsis i el comportament dels subsistemes que conformen la nau i que tenen més influència en el consum energètic.

### 4.5.1 Eclipsis

Un eclipsi és el fenomen que succeeix quan tres cossos celestials queden alineats, fet que provoca que no hi hagi plena visibilitat dels dos elements situats als extrems oposats.

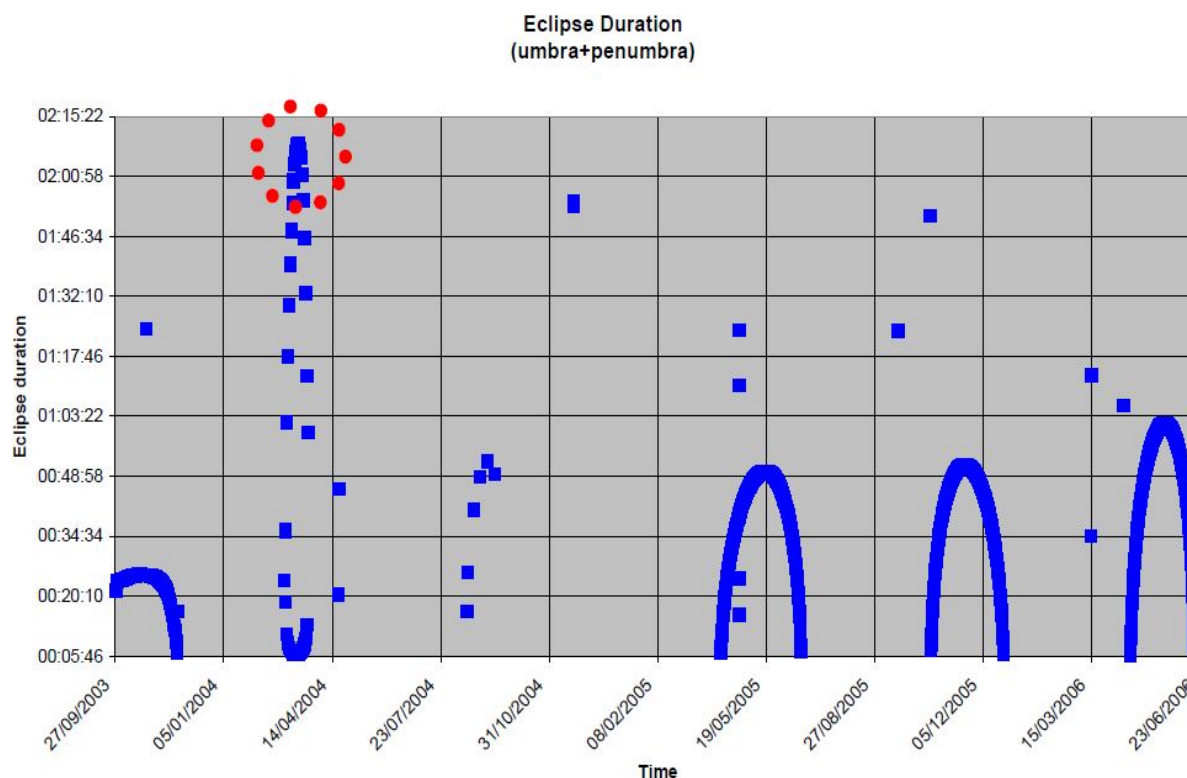


Figura 4-5: Perfil d'eclipsis de la missió sencera (ESA)

Després d'assolir l'òrbita lunar a inicis de 2005, les temporades d'eclipsi estan molt ben definides, i el pitjor cas es dona quan la direcció del sol és quasi o coincident amb el pla orbital i el periluni es troba a la cara il·luminada de la lluna. Durant el temps on la nau es troba entre el sol i la lluna l'efecte de la temperatura als panells solars és notable.

La regió encerclada en vermell marca els eclipsis de màxima duració que cal sobrepassar. Aquesta regió és l'única que requereix operacions especials. L'estratègia seguida consisteix en escalfar la part on s'ubiquen les bateries exposant la cara i els panells al sol directament, reduint la necessitat de dissipació resistiva per mantenir la temperatura a l'interior de la nau durant l'eclipsi.

El consum durant els primers 75 minuts pot ser mantingut en qualsevol eclipsi. A partir d'aquest temps, s'ha de començar a engegar els escalfadors. Durant l'eclipsi més llarg només van ser emprats quatre escalfadors (1 pel DCIXS, 1 pel dipòsit de xenó i 2 pels tancs d'hidrazina).

#### 4.5.2 Bateries: rendiment durant els eclipsis

La capacitat d'una bateria depèn a més del seu historial i de la temperatura, de la ràtio a la que es descarrega i carrega (denominada en "C", on 1C representa la seva capacitat nominal (Ah) en descàrrega contínua durant 1 hora).

En funció de la durada d'eclipsis, es van avaluar els rendiments de les bateries, prenent com a base els eclipsis entorn 120minuts i 40minuts com a referència. Un anàlisi de la descàrrega en Ah contra el temps de càrrega va ser portat a terme durant múltiples eclipsis.

Com que la càrrega es realitza a corrent constant (la part a tensió constant és només de manteniment), es pot determinar la càrrega pel temps. S'ha observat que les lectures de corrent són molt poc precises (sensors d'efecte Hall dimensionats per 35A i carregant a 3A) i no poden ser emprades per calcular Ah.

D'altra banda, la descàrrega durant l'eclipsi tampoc és constant. El càlcul hauria de començar per "zero" i comptar els corrents de 10-12A per obtenir els Ah emprats sense desviacions. Comparant el corrent de descàrrega amb el temps de recàrrega i la pèrdua de tensió es pot valorar l'estat de les cel·les.

La taula següent compara les capacitats de les 5 bateries durant 2 eclipsis llargs.

LONG ECLIPSES												
	Time hrs	Bat 1 Ah	Bat 2 Ah	Bat 3 Ah	Bat 4 Ah	Bat 5 Ah	Total Ah	Bat 1 V corr	Bat 2 V corr	Bat 3 V corr	Bat 4 V corr	Bat 5 V corr
<b>14-Mar-04</b>												
start-of-discharge	8.411	-0.385	-0.404	0.088	-0.358	-0.208	-1.267	4.135	4.134	4.097	4.133	4.094
end-of-discharge	10.467	17.472	17.835	16.638	16.423	16.921	85.289	3.793	3.772	3.764	3.777	3.776
end-of-charge	14.260	2.378	2.900	2.355	2.113	2.334	12.080	4.168	4.125	4.128	4.119	4.127
delta discharge	2.056	17.857	18.239	16.550	16.781	17.129	86.556	-0.342	-0.362	-0.333	-0.357	-0.318
delta recharge	3.793	-15.094	-14.935	-14.283	-14.310	-14.587	-73.209					
recharge factor	1.845	0.845	0.819	0.863	0.853	0.852	0.846					
date	Time hrs	Bat 1 Ah	Bat 2 Ah	Bat 3 Ah	Bat 4 Ah	Bat 5 Ah	Total Ah	Bat 1 V corr	Bat 2 V corr	Bat 3 V corr	Bat 4 V corr	Bat 5 V corr
<b>22-Nov-04</b>												
start-of-discharge	1.790	-0.253	-0.105	-0.105	-0.267	-0.045	-0.775	4.134	4.133	4.095	4.130	4.139
end-of-discharge	3.652	18.337	18.863	17.337	17.068	17.765	89.371	3.746	3.769	3.804	3.820	3.820
end-of-charge	7.630	2.089	2.368	1.733	1.723	1.837	9.751	4.166	4.121	4.130	4.120	4.129
delta discharge	1.862	18.591	18.968	17.443	17.335	17.809	90.146	-0.388	-0.365	-0.291	-0.311	-0.319
delta recharge	3.978	-16.248	-16.495	-15.604	-15.345	-15.927	-79.620					
recharge factor	2.136	0.874	0.870	0.895	0.885	0.894	0.884					

Taula 4-1: Capacitats de les bateries del Smart-1 (ESOC)

La taula de sota representa les ràtios de capacitat de les bateries durant un eclipsi tipus de 48 minuts.

Eclipse date	06May06
Eclipse duration	0.78 hours
[A]Discharge	43.67Ah
[B]Avg Vsoe-Veoe	0.272V
[C]Recharge duration	2.03 hours
factor [A/C]	21.48 A
factor [B/A]	6.23 mV/Ah

Taula 4-2: Exemple de la telemetria presa durant un eclipsi (ESOC)



### 4.5.3 Efectes de les altes temperatures al rendiment de les bateries

És conegut que les bateries tenen una vida limitada degut a la seva naturalesa química i les propietats físiques canviant dels seus materials actius. I aquests canvis són majoritàriament irreversibles. La missió SMART-1 ha estat relativament curta i amb uns cicles llargs, amb eclipsis de fins a 130minuts. Per aquests eclipsis llargs el rendiment de les bateries es conserva procurant no sobrepassar els 35°C que podrien degradar les cel·les. A temperatures baixes l'electròlit es podria congelar, mentre que a temperatures altes els compostos químics actius es podrien recombinar derivant en altres subproductes inerts de manera irreversible.

Per aquests motius, es monitoritzen contínuament els temps i temperatures d'exposició de cada cel·la. Per les característiques orbitals, no hi havia risc de congelació i per l'orientació de la nau s'ha pogut mantenir sempre la temperatura per sobre del mínim tolerable.

Per norma general el rendiment de la bateria millora amb la temperatura, motiu pel que elevar la temperatura abans d'eclipsis llargs permetia maximitzar la potència de sortida de les bateries.

El sistema de propulsió elèctrica causa en alguns instants puntes de demanda que escalfen les bateries a temperatures per sobre dels 35°C, especificat com a límit superior.

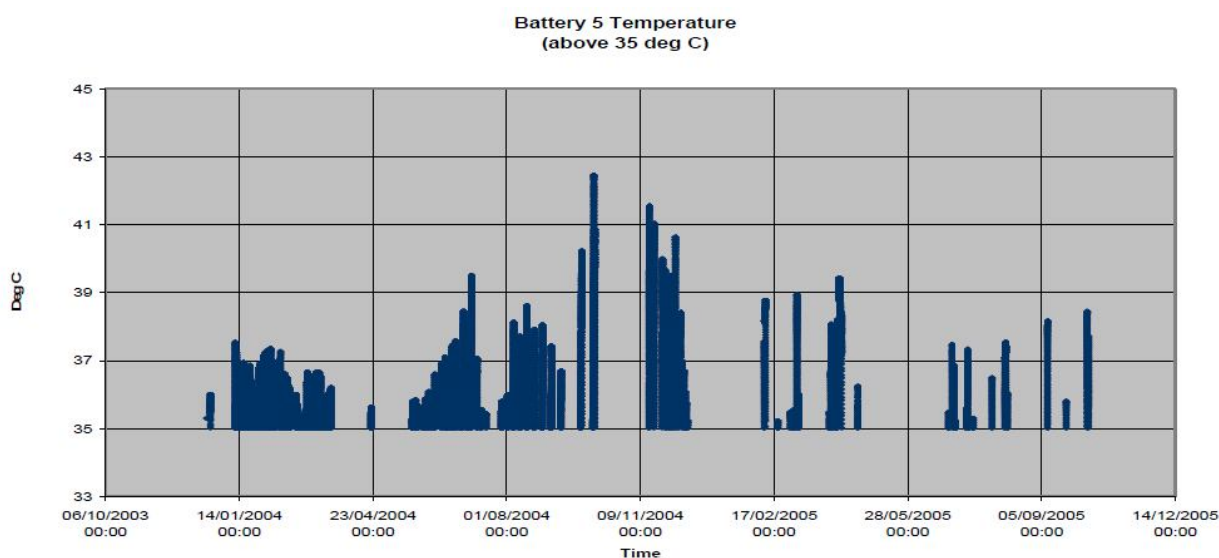


Figura 4-6: Bateria 5 per sobre de 35°C (ESOC)

Els anàlisis posteriors demostren que les petites variacions de temperatura no provoquen canvis significants en la corba càrrega i descàrrega. Les variacions representen que a temperatures baixes resulten temps de càrrega llargs.

### 4.5.4 Estratègia abans de la 1a temporada d'eclipsis

El primer eclipsi té lloc el febrer de 2004 i prèviament hi ha hagut dubtes sobre les estratègies a seguir en eclipsis superiors a 120minuts, malgrat els resultats dels models de laboratori, basant-se en les baixades de temperatura d'alguns sistemes en eclipsis anteriors. Apuntant cap al sol aquestes unitats la calor residual aguanta des de 2 hores anteriors a l'eclipsi fins haver-lo passat.

A més, mantenint aquesta orientació durant l'eclipsi, ajuda a tenir màxima potència als panells solars un cop passat. Prèviament s'han reproduït aquests exercicis en els eclipsis de durada superior als

60 minuts.

#### 4.5.5 Degradació dels panells solars

Pels sistemes de telemetria es monitoritza la potència subministrada pels panells solars, i es compara amb les dades de laboratori a BOL. La primera gran degradació es deu als anells de Van Allen, la segona a una fallida d'una subsecció (3 cadenes, 1A en total) dels panells solars (octubre de 2005) i una tercera deguda als canvis d'orientació per a baixar la temperatura dels panells.

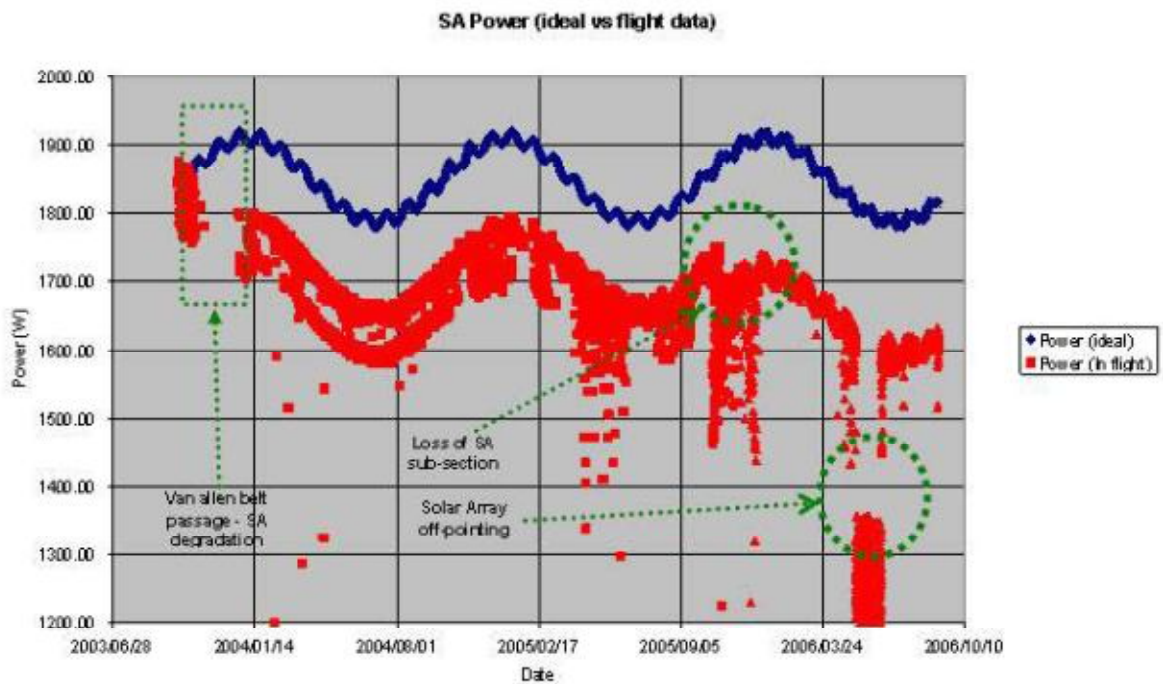


Figura 4-7: Potència dels panells solars al llarg de la missió (ESA)

La degradació contínua dels panells solars provoca que s'hagin de començar a aplicar mesures d'austeritat i contenció energètica, ja que l'energia passa a ser més escassa, i quant més carregades vagin les seccions útils dels panells solars, més s'accelerará la seva degradació per radiació solar.

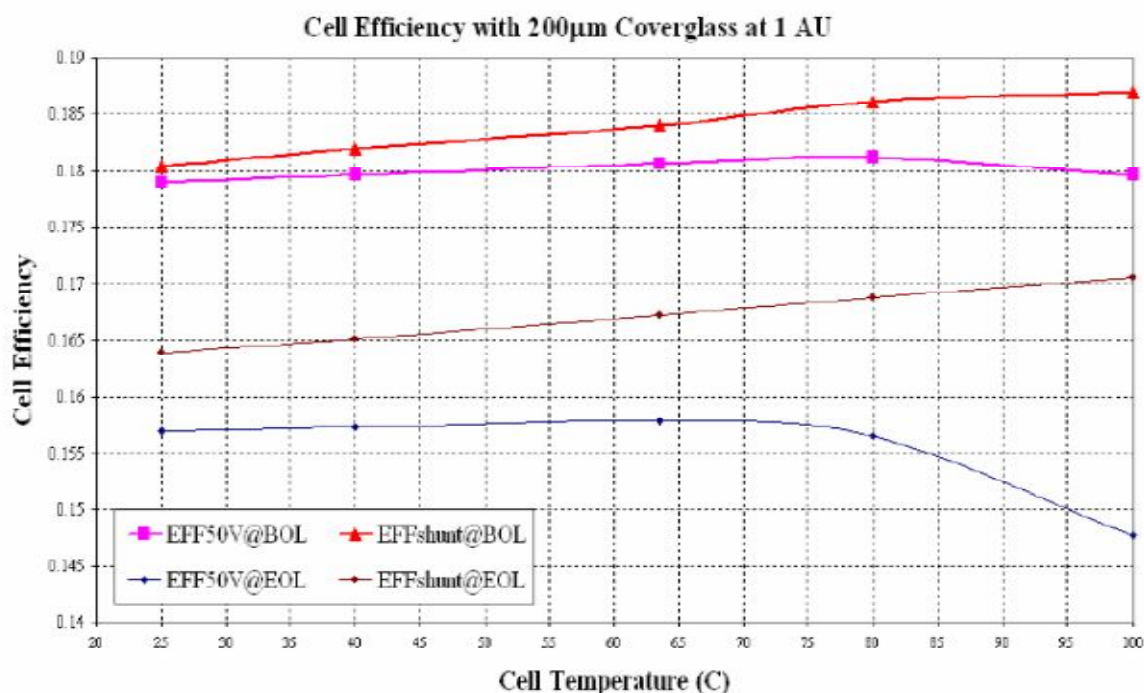


Figura 4-8: Canvis de l'eficiència del panell fotovoltaic en funció de la temperatura (ESA) (BOL=beginning of life, EOL=end of life)

Igualment cal buscar les causes de la davallada de potència al llarg del temps. En un primer pas es passa a mirar els efectes de l'envelliment en tant que canvia la temperatura de la cel·la. Basat en la telemetria de la nau, es crea un mapa de punts on es poden comparar les eficiències del captador solar i la capacitat de dissipació cap a l'espai exterior del shunt resistiu muntat a la part posterior del panell. Segons indica el gràfic, en funció de la temperatura els electrons salten més fàcilment a un nivell superior i aconseguixen un major rendiment de la placa, però les propietats de radiació de la part posterior se'n veuen afectades de forma negativa (fet que pot ser bastant trivial ja que la visibilitat del resistor a la placa és elevada i per tant no pot enviar l'energia a cap lloc fred).

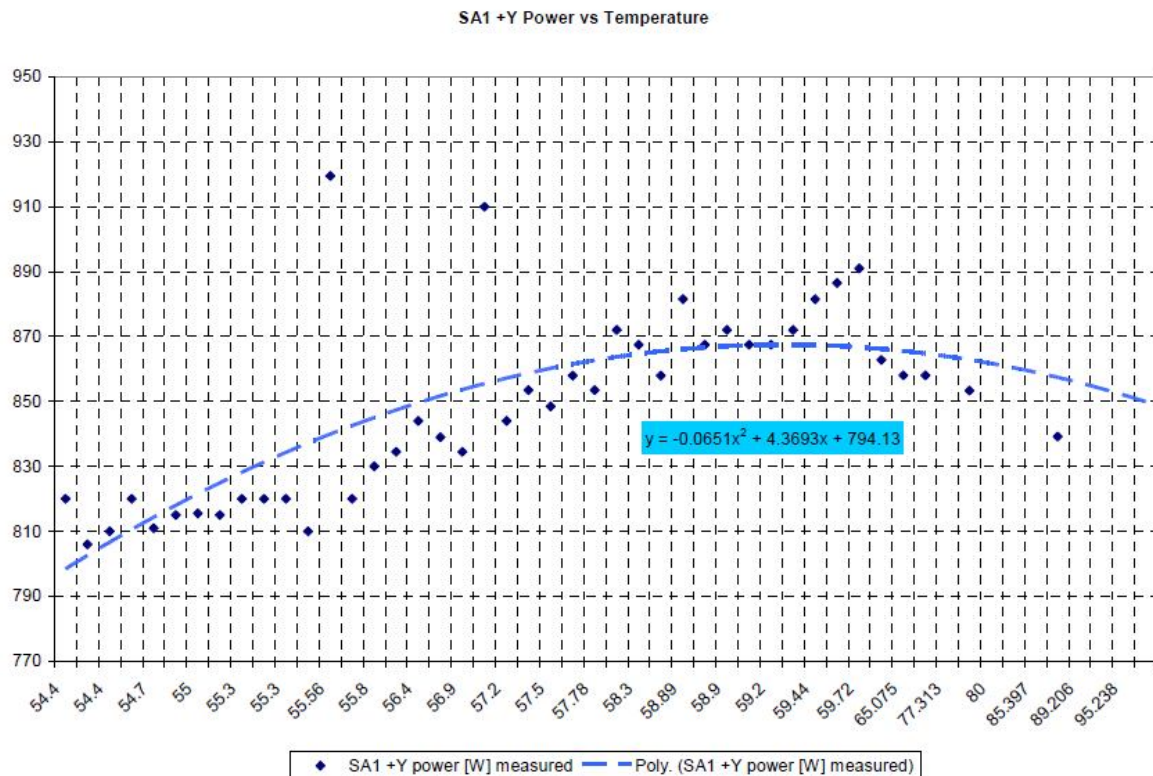


Figura 4-9: Potència elèctrica generada en funció de la temperatura del panell 1 (ESA)

Finalment també es procedeix amb una secció de panell, a tall de mostra de la generació en un instant de temps determinat, a diferents temperatures. La temperatura dels panells s'aconsegueix canviar en base a una lleugera reorientació de la nau, dels braços dels panells o combinacions dels dos paràmetres. S'observa així que hi ha una temperatura òptima de funcionament, a l'entorn dels 59°C (eix X no escalat).

#### 4.6 Lliçons apreses del sistema de potència

La degradació dels panells de triple unió és menor que la prevista (un 10% en 3 anys).

Les bateries d'ions de liti presenten una degradació negligible bo i haver estat exposades durant llargs períodes a temperatures superiors als 35°C.

La maniobra durant els eclipsis ha estat automatitzada amb un elevat nivell d'autonomia que no requeria intervenció tret dels casos més extrems.

Aquesta fenomenologia es pot traduir directament al vehicle terrestre i es pot sobrepassar copiant-ne les estratègies.

## 5 ANÀLISI DE LA TECNOLOGIA DEL VE

---

Com s'ha vist a la introducció, el vehicle elèctric va veure's desplaçat pel motor de combustió interna ràpidament i de forma especial, per la industrialització el 1908 del Ford T i la comoditat del seu motor elèctric d'arrencada (1911). El Ford T era el 19è cotxe de Henry Ford (el primer prototip va ser el Ford A, seguit del B... i així successivament) i el primer en tenir èxit massiu.

Una gran aplicació elèctrica que ha tingut èxit ha estat l'electrificació dels transports. El desenvolupament de tramvies, troleibusos, trens subterranis metropolitans i trens entre ciutats és un gran -i eficient- consumidor d'energia elèctrica al lloc d'utilització.

Una altra aplicació de sistemes autònoms la trobem en els denominats sistemes aïllats, com ara en llocs de difícil accés, en vaixells, aeronaus (exemple del Me-163, primer avió-coet de la història i al que calia un aerogenerador) i vehicles militars o espacials (des de 1957, amb l'Sputnik 1 funcionant amb 3 bateries ZnAg).

No com a anècdota caldria posar èmfasi en la importància de sistemes autònoms de gran potència. A les illes i llocs costaners turístics, durant l'estiu hi ha clars dèficits energètics a terra, i la xarxa s'aprofita dels grans generadors que hi ha amarrats a port, embarcats als hotels flotants i creuers (òbviament, aquesta maniobra es fa a petició de la xarxa terrestre, que requereix plans de contingència en cas de col·lapse de la xarxa o del generador embarcat).

Amb un rendiment de les plaques solars proper al 8% real (uns 150W i 300U\$ de cost per metre quadrat), les opcions de concentradors solars o eòlics no presenten alternatives sòlides a l'energia nuclear [P057] que representa un 80% a França, un 20% als USA, un 20% a Espanya i fins al 50% a Catalunya.

Si alguna cosa tenen en comú els vehicles amb MT en general és el sobredimensionament. Mentre que en un MT de potència punta 150kW quasi tot el motor ha d'estar calculat per aquest valor (no sobrepassable), en un motor elèctric de règim nominal 30kW es poden admetre pics molt més elevats durant uns breus instants segons la corba  $I^2T$ , mantenint ambdós motors un nivell de prestacions similar. Alguns Tier1 estan desenvolupant amb fabricants motors més eficients com és el cas de Lotus amb Fagor i Continental (1200cc i 1500cc benzina, 3 cilindres) [P074][P073].

Així doncs, el cost de sortida d'un VE amb bona qualitat i preu ajustat, dona lloc a escàs marge de beneficis. En termes industrials el negoci es guia per la relació triangular Qualitat-Cost-Temps, i molts dels productes prematurs fallen en un o altre aspecte. Assumint costos difícilment escalables com les bateries (6k€), el motor (3k€) i el controlador (3k€) es té un cost de sortida de 12k€ per la part motriu, a part dels costos d'estructura i carrossat (6k€ mínim). No obstant els costos operatius del VE, a nivell energètic, són molt menors que en qualsevol vehicle amb MT i el seu cicle de vida pot ser potencialment superior. Qualsevol canvi en la tarificació o taxació del petroli significaria elevats canvis en els costos de desplaçament, mentre que la menor sensibilitat del consum elèctric, si es tingués un vehicle elèctric pur a data d'avui, permetria un comportament més previsible i estable de costos.

Tenint una dependència del 80% del petroli aniria bé anar disminuint-la atacant els 2 fronts:

1. Disminuint el consum en volum i
2. Substituint l'origen del consum per altres fonts més renovables.

Les empreses del clúster elèctric aposten fort pels vehicles recarregables amb bateria (noves empreses, bàsicament de l'ària de TESLA motors) i algunes per les combinacions amb energies renovables, mentre que petroleres i grans fabricants es dediquen al vehicle convencional evolucionat amb hibridacions peculiars, bo i mantenint l'estructura mecànica d'embragatges i canvis tradicionals si bé, amb major complexitat.

L'energia necessària per al desplaçament del VE pot tenir dos orígens: embarcat o connectat.

- Connectat en forma de catenària, ja sigui superior o inferior o per qualsevol mena de guia electrificada al llarg de tot el trajecte, sovint escombrada per un patí muntat en un pantògraf o braç.
- Embarcat en qualsevol de les formes següents:
  - Bateries: acumuladors químics on dos elèctrodes reaccionen reversiblement de forma REDOX amb un electròlit entremig, a vegades intercanviant massa amb l'ambient.
  - Supercondensadors: on s'acumulen camps elèctrics entre dos conductors elèctricament aïllats.
  - Volants d'inèrcia amb fregament reduït: en forma d'energia cinètica [P076].
  - Generadors fotovoltaics: on les radiacions electromagnètiques incidents exciten els darrers nivells electrònics d'un parell de semiconductors generant un corrent elèctric.
  - Generadors termoelèctrics: on un gradient de temperatura/flux de calor genera un corrent/flux elèctric.
  - Cel·les de combustible: una reacció redox a baixa temperatura a través d'una membrana porosa per on sols poden circular ions genera un corrent elèctric.
  - Generadors autònoms rotatius connectats a eixos moguts per energia tèrmica o nuclear (energia química, tèrmica, mecànica i magnètica transformades).

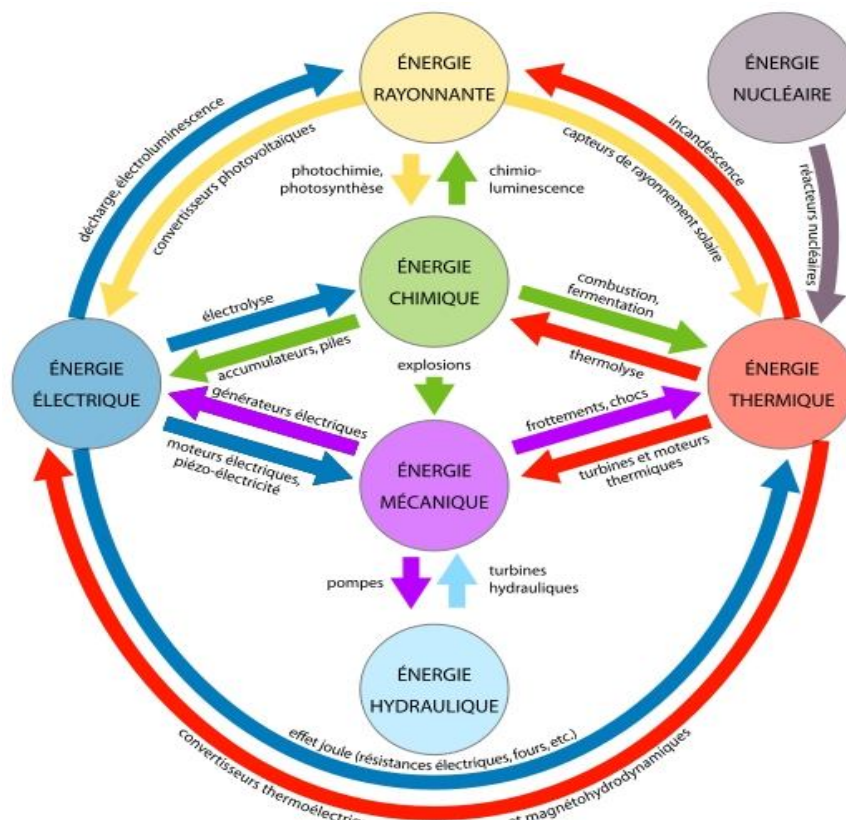


Figura 5-1: Cicles de l'energia (wiki commons)

En el cas concret del transport per carretera i dins dels sistemes embarcats, es poden distingir fàcilment les tipologies de vehicle següents:

- VE pur
  - Adaptat
  - Electromòbil
- Vehicle Híbrid
  - Sèrie (ex: vehicle solar)
  - Paral·lel

En tot VE podem distingir 3 elements particulars: el motor elèctric, el sistema de gestió i control energètic i la font d'alimentació i emmagatzematge.

## 5.1 VE pur

---

El vehicle elèctric pur no carrega a bord cap altra font d'energia que no sigui elèctrica o electroquímica. El consum es realitza doncs, elèctricament i la seva més gran funcionalitat és en medis urbans on no contaminen localment, ja que traslladen les emissions a les centrals generadores de la rodalia. Poden ser endollables o amb bateries intercanviables. De VE purs en distingim dues classes:

### 5.1.1 Adaptats

Vehicles convencionals on el motor (150kg), caixa de canvis i transmissió (90kg) [P041], i dipòsit (60kg) han estat convertits pels seus equivalents elèctrics (bateries, carregador, controlador i motor). Malgrat representar una ràpida solució als problemes d'electrificació, no estan optimitzats per a la seva conducció en mode elèctric. Són grans, pesats i sovint sobredimensionats tant mecànicament com als requeriments de l'usuari, incorporant components innecessaris per als sistemes elèctrics però reduint despeses en la cadena de producció. Actualment presenten autonomies de fins a 80 km amb velocitats punta de 80 km/h.

### 5.1.2 Electromòbils

Són vehicles especialment concebuts per a la seva conducció en mode elèctric. Es caracteritzen pels seus dissenys altament funcionals i per la seva optimització de l'energia a bord. Resulten cars per la seva exclusivitat i escassa penetració al mercat. A tall d'exemple, el *Think City* (40k€) fins ha demostrat autonomies de fins a 230km a 50km/h, encara que pel seu elevadíssim preu, sols troben ús en flotes públiques o com a segon vehicle de famílies benestants. Els més assequibles són el *Birò* (8k€) el *Tazzari Zero* (20k€) i el *Nissan Leaf* (30k€). En contracte de *leasing* hi trobem la gamma Renault: *Twizy* (6k€) i *Fluence* (25k€).

## 5.2 VE Híbrid

---

El concepte híbrid significa "mescla", i en el cas del VE, fa referència a la utilització d'un propulsor elèctric i qualsevol altre font generadora o propulsora auxiliar. El VE híbrid pot ser autònom o endollable. Els motors poden treballar individualment o alhora, aportant una potència suplementària a una unitat individual. Els vehicles híbrids presenten un increment notable de la complexitat dels sistemes, requerint més complexes operacions de taller amb personal altament qualificat. Aquestes hibridacions presenten clars avantatges en conducció urbana i sobre alguns trams interurbans, però

queda pendent la seva demostració pràctica sobre el terreny en els denominats motors d'extensió de rang (híbrid sèrie). Aquesta barreja de sistemes motrius porta a fer una distinció entre híbrids:

### 5.2.1 Sèrie

Són vehicles on la propulsió es realitza íntegrament per mitjà de ME (motors elèctrics), amb o sense bateries i amb sistemes de control electrònics. El seu MT (en cas de tenir-ne) treballa encaixat directament a un generador que proveeix el subministrament elèctric a bord. Aquesta mateixa funció la pot fer una pila de combustible. Actualment no trobem cap vehicle com aquest al mercat de turismes, però sí en entorns industrials [P077].

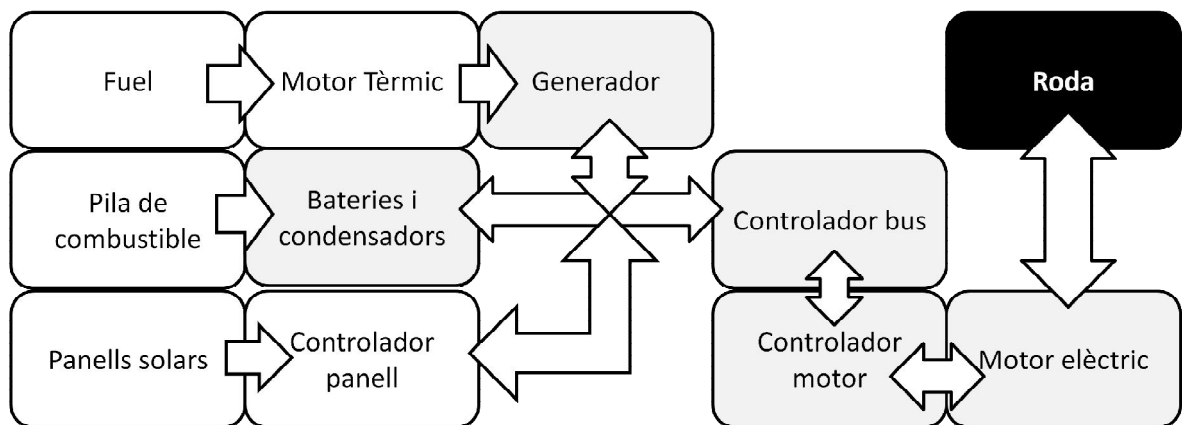


Figura 5-2: Estructura d'un vehicle híbrid sèrie

Els vehicles solars són vehicles híbrids sèrie, auto abastits d'energia per mitjà de panells fotovoltaics i bateries emplaçats a la carrosseria, ales o buc, on es demostra l'aprofitament màxim de l'energia embarcada i els algoritmes de gestió energètica més eficients. Pesen entre 100kg i 300kg i són demostradors de tecnologia. Per la seva exclusivitat, cost i artesanía, el seu medi natural són els concursos, exhibicions i ral·lis solars. Els millors monoplaques tenen superfícies solars de 10 metres quadrats i potències properes a 1,5kW, assolint els 130km/h de velocitat màxima sostinguda.

### 5.2.2 Paral·lel

Vehicle que disposa de dos o més sistemes de tracció, que poden bé funcionar independentment o de forma complementària. És un plantejament on el ME i el MT treballen ambdós amb connexió directa a les rodes, bo i per mitjà de transmissions, reduccions, diferencials i embragatges. El VE híbrid paral·lel té els inconvenients de portar sempre a bord bateries, transmissions, refrigeracions i motors redundants per donar resposta a una mateixa funcionalitat. Per la seva complexitat són pesats (Toyota Prius: 1400kg, 4,2L/100km) i presenten consums tant elevats com si no fossin electrificats parcialment ([P030] Chevrolet Volt/Opel Ampera: 1800kg, 8,1L/100km i 160Wh/km, Honda CRZ: 1300kg, 6,4L/100km).



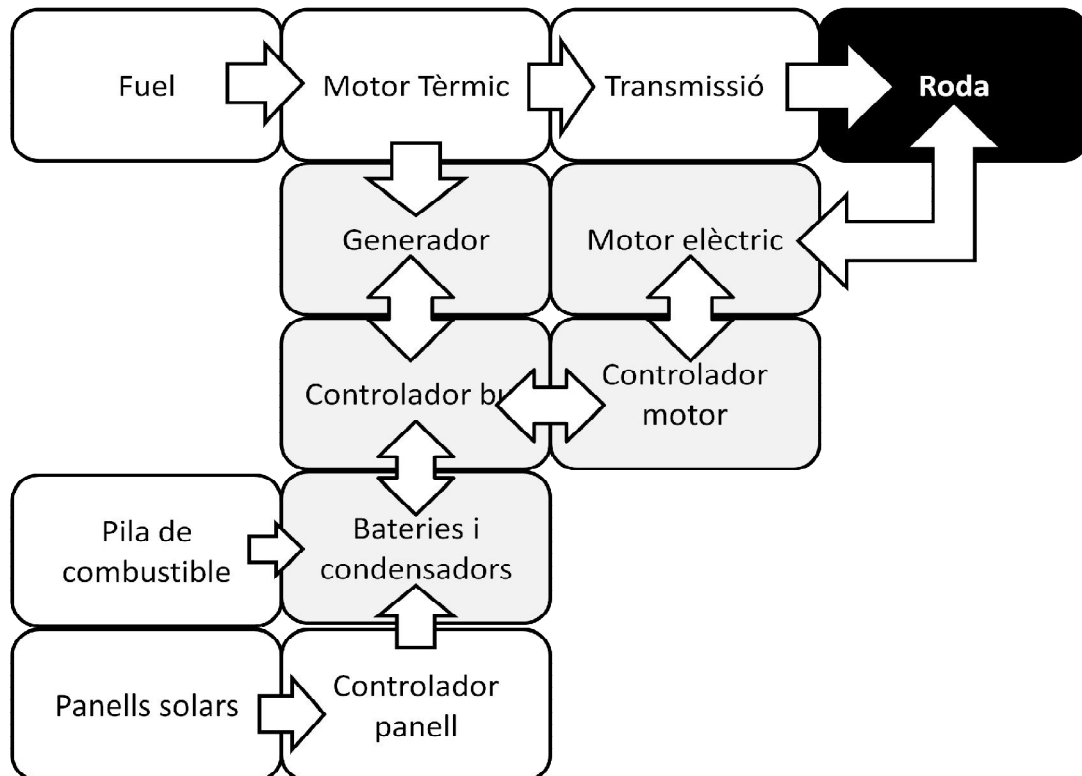


Figura 5-3: Estructura d'un vehicle híbrid paral·lel

La transmissió sol portar doble embragatge, un tren epicicloïdal o un CVT (transmissió variable contínuament) per un funcionament suau. Els exemples més venuts són el Toyota Prius, Toyota Auris, els Lexus sèrie *h* i els Honda Insight i Honda CRZ, amb preus de sortida superiors als 25k€.

Seguint amb les classificacions per als vehicles, igualment amb l'energia utilitzada trobem una gran categoria: pot ser d'origen renovable o no.

- **Renovables:** considerem energies renovables aquelles que provenen del sol en qualsevol de les seves manifestacions atmosfèriques (eòlica, radiant, hidràulica, mareomotriu), la geotèrmica, les de les mareas i qualsevol altre cicle tancat dins l'atmosfera terrestre amb l'acció solar (creixement de vegetals).
- **No Renovables:** són fonts que per la seva naturalesa intrínseca, no poden tancar cap cicle. En aquesta categoria trobem la nuclear (fusió, fissió), el carbó de mines i el petroli. Aquests dos últims suposen magatzems d'energia solar anterior a la nostra era en forma d'hidrocarburs en un cicle obert d'emissió, des de les profunditats dels pous cap a l'atmosfera, per mitjà de la combustió. La descomposició radioactiva és un fenomen natural que es pot aprofitar de forma controlada en reactors, però que no té cap mena de cicle renovador.

Qualsevol procés de descomposició o recomposició artificial (per exemple la hidròlisi de l'aigua) és renovable o no en funció de l'origen de l'energia invertida en el procés.

En resum, per tal de tenir un consum energètic sostenible, a Catalunya (i al planeta en conjunt) ha de consumir només l'equivalent absorbit en radiació solar menys la part de l'albedo al buit celest de la part terrestre exposada a la penombra. Per a completar l'anàlisi del balanç energètic, cal valorar quina és

la cadena emprada des de l'obtenció de l'energia primària fins a la seva utilització: sembra, collita i processament dels vegetals, refinat i distribució del producte, extracció mineral i manufactura de plaques fotovoltaïques, etc.

## 5.1 Històric

El consum del Ford T era d'uns 15litres/100km i quasi tots els vehicles populars l'han mantingut constant al llarg del temps amb una lleugera tendència decreixent (prop del 0,5% anual) tret de la època del Biscúter, quan van aparèixer ple de microcotxes [P007] amb menors dimensions, prestacions i consums, per la contracció econòmica.



Figura 5-4: Quan les mides i el parc no paren de créixer apareixen més problemes (RACC)

Es podria fer un petit repàs als VE més singulars de la història recent (el nou "mini" no compta), malgrat que no es pugui disposar de gaires nombres respecte a les unitats comercialitzades i que caldria relativitzar els preus d'acord amb els guanys d'un treballador mig o del PIB per càpita del seu temps tot i que quedaria al marge de la tesi.

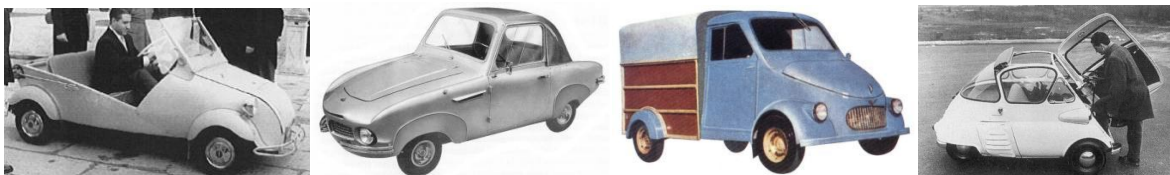


Figura 5-5: Biscúter 200, Biscúter coupé, FH i Isetta (grupo7.com/microcoches)

Hi ha hagut grans desenvolupaments per petits emprenedors europeus (francesos, alemanys, danesos, suïssos) i nord-americans. Els japonesos i xinesos han mantingut el VE com a mitjà industrial de producció i transport, com ara carretons elevadors i transportadores (poques iniciatives haurien progressat cap a un Twike, Think o Reva a l'orient). A més, a països com Japó, s'ha mantingut una cultura de vehicles petits molt funcionals que permet estalviar en els desplaçaments de repartiment de proximitat.



Figura 5-6: Keicar, vehicle lleuger japonès (<http://images.thetruthaboutcars.com>)

Curiosament en l'electrificació dels vehicles, mentre el ferrocarril ha optat majoritàriament per motors de corrent alterna i d'inducció, els vehicles rodants s'han decantat en gran mesura pel corrent continu i els imants permanents. Com s'ha dit a la introducció, la primera locomotora ja va ser trifàsica i asíncrona, mentre que el primer cotxe funcionava amb bateries i motor d'escombretes de corrent continu.

Aquesta escissió ve donada per la deficient coneixença del flux elèctric i els elements de control, aparentment més simples i dòcils en corrent continu. La principal barrera per a l'eficiència del transport rau en la resposta als transitoris, on els rendiments cauen en picat fins a valors del 8% en màquines elèctriques i 2% en màquines tèrmiques.

## 5.2 Present

---

El teixit industrial i comercial dels vehicles està dominat per 5 grans marques: Toyota, General Motors, Volkswagen, Ford i Renault-Nissan. A 2009, escassament hi ha 60 models de VE homologats circulant per Catalunya, d'un parc censat de 700 VE en l'històric acumulat.

Pel que fa a dependència energètica, seguim propers a les xifres de fa 110 anys: l'autobús urbà consumeix uns 60L/100km, mentre que pels de gran ruta la xifra es situa prop dels 30L/100km (en dièsel), un 4x4 o SUV dièsel entre 9 i 13L/100km, mentre que el més petit utilitari de benzina es situa vora els 6L/100km al món real, fora dels cicles homologats d'acceleracions suaus i fantasioses del NEDC. El preu del GLP ronda els 0,6€/L i la benzina/gasoli els 1,3€/L a Espanya (2010). Pel que respecta al sector marítim d'esbarjo, les embarcacions recreatives a motor es mouen prop dels 150L/h. El sector aeronàutic no té impostos al combustible i el preu és d'uns 300€/1000L.

Però la pregunta és: i quin és el consum d'un tren de transmissió híbrid? Realment costa d'afirmar, però el Toyota Prius presenta consums propers als 4L/100km amb prestacions equivalents o superiors a un utilitari. Siemens, Endesa i Seat sembla que tenen una voluntat per un cotxe de futur, però quin? Segons el Dr. Wolfgang Schneider [P033], cal revisar més profundament el "què" es legisla, per sobre del "com" s'ha de solucionar tècnicament, deixant màniga ampla als tècnics i empreses.

Malgrat les males perspectives degut al panorama de crisi econòmica, hi ha un important paradigma global. Els xinesos s'esforcen a posar un motor i bateries elèctriques a qualsevol xassis que tenen, els suïssos han desenvolupat múltiples marques i models ultra eficients, els escandinaus ultra cars (ERA: 200k€), mentre la resta dels europeus fan només prototips per decorar les galeries dels salons de l'automòbil, tret d'algun fabricant de bateries com FAAM (Itàlia) o Piaggio (Itàlia).



Figura 5-7: Electric Race About (www.era.fi)

D'altra banda, tenim el clúster americà, que amb el temps ha anat forjant una pila d'empreses que, amb els seus èxits i fracassos, s'ha expandit per la Índia amb les marques Tesla i Reva com a estàndard. El GM Saturn EV-1 va ser una flor d'estiu que GM va eliminar prematurament per perpetuar el monopoli del MT i acabar d'esprèmer el negoci actual, però no li ha sortit bé la jugada i Toyota li ha passat al davant. Igualment amb les motos elèctriques Vectrix, tot un referent amb escàs èxit al seu país d'origen, però amb certa acceptació a Europa. Al Japó també es treballa fort en la posta a punt del VE híbrid i pur. Cal afegir que al Japó, es grava fortament als vehicles i els consums energètics elevats per la seva superpoblació i densitat.

Al saló de Frankfurt de l'automòbil de 2009, Lotus ha presentat un *range extender*, un motor directament connectat a un generador, aplaudit per tothom. El conjunt motopropulsor ha estat desenvolupat a Euskadi pel grup Fagor. Igualment va ser Lotus, el primer que va aprofitar per comprimir aire en les frenades del vehicle i també ha estat Lotus (Lotus és actualment americana, ja que Bugatti, la seva antiga propietària va entrar en fallida i ara pertany a VW) la que ha tirat endavant el projecte de Tesla. Igualment, Tesla també comparteix material amb Mahindra-Reva (que tampoc és Índia, sinó americana), amb Toyota i amb Daimler-Benz, mentre que Vectrix també és americana, amb la qual cosa, sols queda el Think finès com a anècdota independent. Igualment amb les bateries de liti, material que els americans en tenen suficient, i intenten convèncer a tothom que el liti és i serà necessari per sempre més a uns preus exorbitants, que poden donar lloc a una gran bombolla especuladora [P005].

Darrerament s'ha forjat una nova terminologia relacionada amb el VE com ara PRI (punt de recàrrega inútil), que poden conformar un nou paisatge urbanístic i confondre els decisors sobre la implementació correcta del VE. Les pilones de càrrega són fruit d'una especulació evident.

Com a vehicle referència mig (segment B/C), es pot prendre un turisme d'uns 1200kg (estil Renault Clio 1.5 Dci o VW Golf 1.6) on sols les pèrdues per transmissió pugen fins a 15kW a plena càrrega. Aquí és on el vehicle elèctric pot marcar una clara diferència.

Actualment s'ha desenvolupat suficientment l'electrònica de potència com per poder controlar qualsevol mena de motor sense grans complicacions tècniques, bo i tenint encara una fiabilitat limitada en altes intensitats, que s'usa massivament en el control vectorial dels motors dels darrers VE. No obstant, el seu rendiment dista bastant del que potencialment podria ser, situant-se prop dels 95%.

Segons usuaris de VE de l'associació Volt-tour, un ús moderat del transport privat pot veure's compensat econòmicament i ecològicament simplement instal·lant uns 2000€ en generadors solars i eòlics domèstics.

Una manera d'aprofitar els coneixements del vehicle actual és instal·lant MT funcionant al règim

òptim (zona propera al parell màxim) i dissenyant igualment el motor tractor amb el mateix criteri. Degut a la reducció de mida, les friccions començaran a cobrar un paper més important al MT, alhora que els problemes de refrigeració aniran simplificant-se cada cop més al MT, però no al ME [P010].

Els motors actuals admeten moltíssimes classificacions, i cada categoria resulta apta per a una determinada arquitectura i funció:

- Lineals o circulars
- Flux axial o radial
- CC o CA
- Numero de fases i pols
- Imants permanents, inducció, sense ferro [U15], o amb excitació (i el seu control)
- Tipus de motor, construcció i paràmetres nominals (tipus de bobinat, diàmetre del fil, nombre de ranures, ompliment de ranura i profunditat, kW/kg)

Els motors elèctrics actuals presenten importants xifres de potència específica, i malgrat que els millors assoleixen rendiments del 90%, la majoria de generadors muntats als vehicles (els més econòmics) presenten rendiments del 50% que acaben provocant problemes de refrigeració severos quan van sol·licitats. El preu d'un motor d'alt rendiment amb imants permanents frega els 3k€ i el seu sistema de control pot igualar la xifra. A tall d'exemple, un dels motors més emprats és el motor Agni CC de 60V i 200A, amb una mecànica al límit de dissipació de calor, i malgrat anunciar un rendiment potencial del 93%, quan s'utilitza a 105V i 400A no s'arriba al 75%. Per a motors de tracció directa a roda, caldria un motor amb especificacions de 1500 min<sup>-1</sup> i parell de 300Nm (o 2 motors de 150Nm). Lemco és una marca que té motors molt similars als Agni i que ha permès una primera generació de vehicles elèctrics a preu assequible (800€/unitat) però amb uns costos de manteniment impropis (400€/100km). El preu futur dels imants permanents amb terres rares és incert [P012], però sembla que Xina dominarà el mercat.

El fet de treballar en corrent continu o altern és especialment rellevant respecte els sistemes de regulació, control i protecció (sobrecàrregues, fugues, contacte directe i indirecte) i per tal de neutralitzar corrents paràsits, harmònics i energia reactiva. Gràcies al coneixement de les proteccions a 230VAC, resulta una tensió interessant de treball, tot i que pel moment no s'utilitzi gaire, amb un bus de 400VDC.

### 5.3 Fonts d'energia elèctrica

---

#### 5.3.1 Generadors

En aquest apartat, trobem el mateix buit que es troba a la formació, i especialment al camp de coneixement dels generadors rotatius per a vehicles: és un art poc conreat a Catalunya actualment.

Els generadors rotatius poden ser de CC com les dinamos, o de CA com els alternadors, amb una o múltiples escobretes radials, axials, d'anells lliscants, gàbia d'esquirol o d'imants permanents, factors que influeixen en gran mesura en la seva característica de comportament Tensió (limitació dels aïllants)-Intensitat (limitació dels conductors emprats)-Velocitat de gir (limitació mecànica d'explosió i de freqüència). El sistema de control de l'excitació i commutació dels pols és igualment important podent ser en sèrie, independent o d'imants permanents *brushless* (amb ponts rectificadors muntats al mateix rotor).

En cas de treball amb corrent trifàsic entre generador i motor, el connexionat en un transformador entremig en D-Y permet un aïllament galvànic i un filtratge parcial de distorsions en la ona, causades per la presència de saturacions en el ferro i l'electrònica de potència, ja sigui en sistemes de control com en elements de regulació.

Com a cadena elèctrica no convencional, caldria investigar en profunditat:

- Millora constructiva del generador rotatiu (probablement sobredimensionat)
- Cicle combinat de vapor a altes velocitats (turbocompressor d'aire opcional)
- Contactors i filtres d'harmònics per optimitzar alternador, motor i càrrega de bateries (*soft start*)
- Re aprofitament d'energies residuals (Seebeck o altres cicles [P002][P090][U01])
- Motogeneradors navals - hèlix sostingudes des de la perifèria - (*rim turbine*, amb problemes si tenen numero parell de pales i el disseny de l'anell inductor) i rodes automotrius
- Característica tensió-intensitat del generador, consistent amb els requeriments V-I del motor
- Mecanismes de manteniment de l'excitació del generador durant els transitoris (punt crític)

### 5.3.2 Tecnologies d'emmagatzematge

Hi ha múltiples tecnologies d'emmagatzematge, sent les més populars i conegudes les bateries [P037], malgrat conviure en harmonia amb condensadors i piles de combustible. Per restriccions tècniques i de cost, als vehicles comuns no s'empren bateries d'un sol ús (piles primàries) sinó bateries recarregables (o secundàries) [P038]. A continuació introduïm els principals tipus de bateries [P039] més esteses (per ordre de potència punta específica, kW/kg):

- Pb àcid – Pb AGM
- Pb-gel (evolució de les anteriors, sense líquid a l'interior)
- Li-ió (LiPo, NMC, LiFePO<sub>4</sub>, LCO: 20kWh pesen 200kg i costen 10k€)
- NiCd (aquós)
- NiMH
- NiCd (sec)
- NaNiCl ("Zebra", que treballen millor a potència constant)

Malgrat que el cost (genèric) es manté entre 3k€ i 10k€ els 100kg de bateries, cal tenir en compte el nombre de cicles de vida útil i la càrrega útil, ja que les descàrregues profundes perjudiquen seriosament els pols de les cel·les, que han d'estar pròpiament protegits exteriorment contra la corrosió catòdica i ben aïllats. Els sistemes de gestió i control i el posterior reciclatge no han de ser obviats, ja que la seva vida és molt inferior als components electromecànics, inclosa l'electrònica de protecció passiva de bateries denominada BMS- Battery management system-.

Per a la darrera generació de bateries recarregables s'empra Liti, un material escàs a l'escorça terrestre i que idènticament com succeeix amb el coure (preu multiplicat per 6 entre 1999 i 2009), el ferro, el petroli i l'alumini, pot i donarà importants bosses especulatives els propers 5 anys. El mercat del reciclatge i tractament també presentarà grans oportunitats en un termini més llarg, sobre els 10 o 20 anys, quan aflorin els problemes de toxicitat dels materials, especialment pel que fa al cobalt dels telèfons mòbils. Pel que respecta a transport, segons Joe Lograsso [P034] existeixen regulacions de la ONU, que limiten l'ús de bateries amb capacitats específiques superiors a 250Wh/kg [Nota: comercialment no es troba res millor a 150Wh/kg]. A més encara no s'ha superat la barrera dels

200Wh/kg en cap bateria secundària.

Un punt important de les bateries són els carregadors, que poden anar embarcats al vehicle o no. Igualment vitals resulten els connectors i endolls per al carregador, que per anar bé haurien de respondre a estàndards amb una compatibilitat global. Probablement l'única manera de carregar universalment sigui per inducció amb un born al ventre del vehicle proporcionant a més aïllament galvànic de la resta de xarxa, malgrat el menor rendiment i les pèrdues per dispersió del flux en l'entreferro. A nivell domèstic crear l'hàbit de connectar el vehicle i tirar nous comptadors amb línies de potència, pot causar certes incomoditats i elevats costos associats a l'adquisició d'un vehicle elèctric, sent necessària sovint l'entrada a un mercat tant exclusiu, que només quedi a l'abast d'uns pocs afortunats.

A continuació es presenten amb més detall les tecnologies d'emmagatzematge més comunes, on trobem principalment, elements de tipus:

### 5.3.3 Electroquímica

L'energia elèctrica és un fenomen que es caracteritza per la separació de dues càrregues elèctriques anomenades electrons i protons (o ions positius).

Els darrers avenços en aquest camp es mostren a continuació:

Any	Inventor (patent)	Fet
1901	Thomas A. Edison (USA)	Invent de la pila de NiFe
1932	Shlecht & Ackermann (D)	Invent dels elèctrodes sinteritzats
1947	Georg Neumann (D)	Segellat complet de les cel·les de NiCd
1949	Lew Urry, Eveready Battery	Invent de les piles alcalines de Mn
1970s	Group effort	Desenvolupament de les bateries de plom - àcid amb vàlvula
1990	Group effort	Comercialització de bateries de NiMH
1991	Sony (JP)	Comercialització de bateries d'ions de Liti (LiCo)
1994	Belcore (USA)	Comercialització de bateries de Polímers de Liti
1996	Moli Energy (CA)	Introducció del càtode de manganès (LiMn)
1996	University of Texas (USA)	Identificació del LiFePO <sub>4</sub>
2002	University of Montreal, Quebec Hydro, MIT, altres (USA-CA)	Millores del LiFePO <sub>4</sub> , nanotecnologies i comercialització. *problemes amb les patents*
2006	Varies empreses	Comercialització de LiFePO <sub>4</sub>

Taula 5-1: Principals esdeveniments en el desenvolupament de les bateries (Cadex)

Aquest fenomen es coneix d'antic, però és en els anys 90 quan es produeixen les darreres evolucions. Caldria remarcar que no s'han produït invencions notables en els darrers 15 anys i que el temps de maduració, entre el descobriment i la comercialització, es troba sobre els 20 anys.

El principi de funcionament es basa en una reacció Redox que és reversible a les bateries secundàries o recarregables. Mentre que els electrons, de massa molt reduïda disposen d'una gran mobilitat en el sí del material on estan continguts (electròlit), els ions o molècules positives resten captius per la mida i massa més elevada, que té dificultats a desplaçar-se en forma de càrrega positiva.

Així doncs, el moviment de càrregues a través dels borns és exclusivament de càrregues negatives (electrons) que passen pels conductors (cables) i que facilitaran el trasllat d'aquests d'un

elèctrode a un altre. A l'interior de les bateries es produirà un petitíssim desplaçament d'un flux d'ions, de mida i massa molt superior a l'electró, que equilibrarà el flux d'electrons i completarà la reacció química formant una nova espècie química de menor potencial químic.

Veiem doncs clarament, que l'electricitat és bàsicament un flux d'energia que resulta complicat de contenir en la fugacitat d'aquesta reacció química. Per tant, per a poder fer un ús d'aquesta energia potencial cal controlar d'una manera o altra el mecanisme pel qual s'origina aquesta separació de càrregues amb sistemes de regulació i seccionament.

Les bateries de plom han estat durant molt de temps un referent a batre en termes de cost, prestacions i vida útil, però no en casos de descàrrega profunda. Cada descàrrega profunda minva de forma perceptible i permanent una part de la capacitat total. Aquesta pèrdua és continguda mentre la capacitat romanent és superior al 80% nominal. A partir d'aquest punt, la pèrdua és més accentuada, fent-se extensible aquest fenomen de fatiga a qualsevol altre tipus de bateria. Aquest fenomen ha passat tant freqüentment que s'anomena "sulfatat" d'una bateria, i succeeix quan un elèctrode queda completament envoltat del producte final de la reacció entre l'àcid sulfúric i plom, que no és conductor elèctric. A vegades cau precipitat al fons de la bateria formant dipòsits cristal·lins, pel que disminueix paulatinament la capacitat de la bateria fins esdevenir pràcticament inservible.

Distingiríem dues grans famílies d'acumuladors electroquímics: les bateries i les cel·les (o piles) de combustible. Les bateries són blocs empilats que al seu torn estan compostes per cel·les o elements, que són els elements més petits que poden donar tensió. A la cel·la individual se la coneix malament pel nom de *pila* malgrat estar constituïda per un únic element. Mentre que les bateries solen ser tancades, sense intercanvi de matèria amb l'exterior, en una cel·la de combustible hi ha un flux massic de reactius des d'un dipòsit cap al generador i que han de ser evacuats per un conducte d'escapament. En una bateria els reactius i elèctrodes canvien la seva composició durant la càrrega i descàrrega, mentre que en una pila de combustible els elèctrodes sols actuen de catalitzador, participant en la reacció sense canviar els seus estats inicial i final.

Les bateries tenen unes especificacions base de fàcil lectura i interpretació, per exemple la retolació: "12V 6s2p 75Ah 10C" ens informa que aquest bloc (bateria) té una tensió nominal de 12 Volts, que pot alimentar l'equivalent a una càrrega de 75 Ampers durant 1 hora, que està composta per 6 paquets connectats en sèrie en blocs de 2 elements en paral·lel i que ens pot donar un corrent màxim de fins a 10 vegades la capacitat nominal ( $10 \cdot 75 = 750$  Ampers) durant períodes molt breus, penalitzant fins a un 30% el rendiment, cosa que no adverteix pas la placa de característiques. En el cas de les bateries de plom per a arrencada, la seva capacitat nominal s'assaja a 0,05C.

#### 5.3.4 *Electròlit i elèctrodes*

El següent gràfic compara l'energia específica continguda en cel·les de plom, níquel i liti, anomenades així pels materials dels seus elèctrodes. Cal notar que el LiCo és el clar guanyador en aquests termes, mentre que plom LiFePo4 i LiMnCo resultarien clars vencedors en potència específica –no representat–.



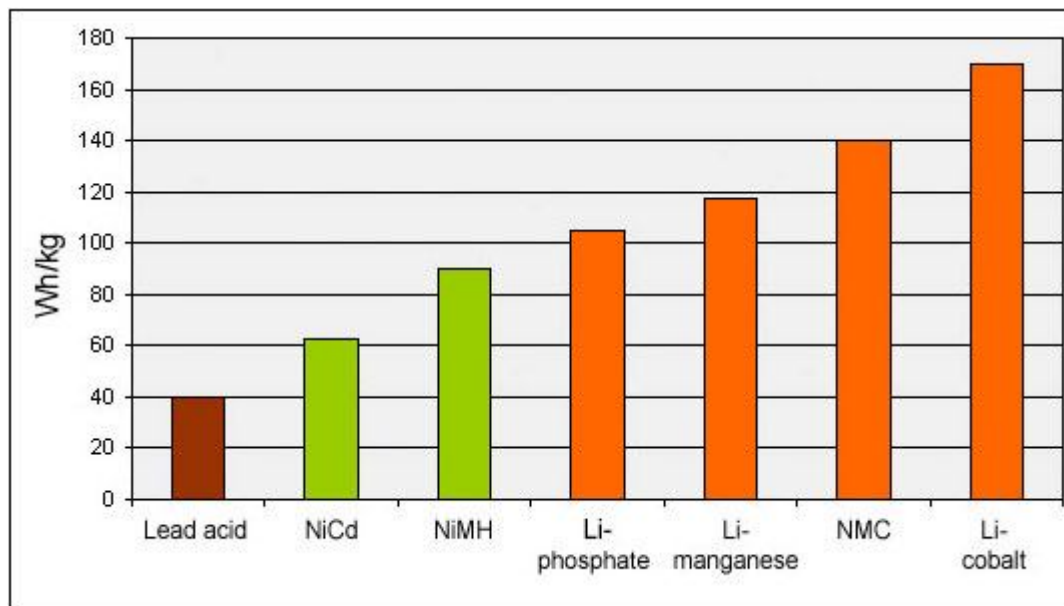


Figura 5-8: Energia específica i material de càtode (Cadex)

### 5.3.5 Estat líquid

A les piles i bateries, la separació de càrregues es realitza mitjançant un electròlit, un medi aquós o humit, on es produeix la dissociació de les càrregues negatives (electrons) de les positives (ions positius) que resulten atretes per l'ànode o el càtode i de les que en depèn el potencial elèctric segons els materials del que estiguin elaborats.

Per tal d'equilibrar les càrregues, els electrons viatjaran del càtode a l'ànode via un conductor extern, que serà el dispositiu elèctric que traurà profit d'aquesta energia de trànsit. Els ions positius es desplaçaran per l'interior de la bateria. A nivell pràctic, els 24kWh d'energia del Nissan Leaf s'emmagatzemen actualment en només 300grams d'ions de Liti (molècules de liti), malgrat que la bateria tingui un pes proper als 300kg.

La pila funcionarà fins que l'ànode quedi completament saturat d'ions positius, i per tant aïllat elèctricament, o fins que s'exhaureixin les càrregues mòbils a dins de l'electròlit, ja sigui per la formació de dipòsits o per cristallitzacions irreversibles.

### Plom

Inventades per Gastón Planté el 1859, ha estat la primera bateria recarregable emprada massivament. La seva extrema simplicitat, formada només per 2 elèctrodes de plom i una dissolució d'àcid sulfúric, l'han portat a ser muntada a tota mena de vehicles. Al principi les bateries contenien un electròlit líquid que més endavant ha estat substituït per un gel i un llit absorbent de sílice AGM (Absorbent Glass Matt), fet que permet muntar-les en qualsevol posició de treball. Les bateries amb electròlit líquid presentaven problemes amb el desplaçament de líquid i les evaporacions d'aigua hidrolitzada, creant atmosferes explosives durant la recàrrega.

La seva tensió nominal és de 2V per cel·la, amb sostre a 2,3V i fons a 1,7V. La tensió màxima de càrrega és de 2,6V, no podent ser mantinguda estable. Les bateries s'han de mantenir a 2,3V estables (tensió màxima, o "flotació") per tal de garantir la màxima vida.

Sovint es troben no només en vehicles sinó també en estacions estàtiques com ara fonts

ininterrompudes per hospitals (SAI), bancs i instal·lacions militars o repetidors de senyal. L'abandonament de les bateries els provoca la sulfatació i la minva de les prestacions en caure la tensió a causa de l'auto descàrrega o *leakage*. Per construcció no presenten efecte memòria i tenen una auto descàrrega entre 3% i 5% mensual (les NiCd es troben entre el 10% i 15%).

En cas d'ús per a descàrrega profunda, una cel·la pot suportar uns 250 cicles complets sempre que treballi a temperatura òptima (25°C). Cada 8°C de diferència escurcen la vida a la meitat.

Les cel·les de plom presenten el millor rendiment quan són descarregades lentament (entre 0,2C i 0,05C), però accepten puntes de fins a 20C depenent de les seves característiques constructives:

Les bateries d'arrencada presenten una baixa resistència interna, tenint unes làmines d'electrode molt fines o mallades per tal de tenir màxima superfície. La prioritat és la potència específica sobre la capacitat.

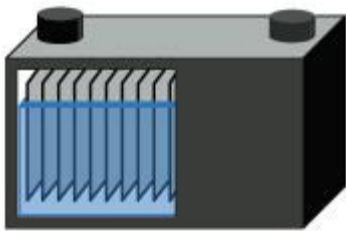


Figura 5-9: La bateria d'arrencada té moltes fines cel·les en paral·lel per aconseguir la mínima resistència elèctrica. No tolera descàrregues profundes.

(Font: Cadex)

Les bateries de tracció, són les utilitzades en vehicles de transport i industrial (carretons elevadors, carros de golf). Les prioritats màximes són la vida útil i la capacitat. Els electrodos són més gruixuts i resilients a descàrregues profundes.

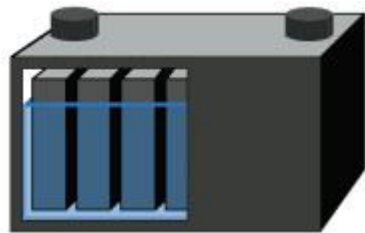


Figura 5-10: Amb electrodos més gruixuts es poden assolir fins a 300 cicles amb un 80% de descàrrega. La tecnologia AGM permet vides superiors als 1000 cicles

(Font: Cadex)

### Bateries de Níquel Cadmi (NiCd)

La bateria de NiCd va ser inventada pel suec Waldmar Jungner el 1899 . Fins a mitjans del segle XX no va experimentar millores significatives, incrementant la superfície dels electrodos i absorbint els gasos generats durant la càrrega.

Igual que les cel·les de plom poden estar fabricades per tenir alta potència o energia específica, però no les dues alhora. Té entre els seus inconvenients més grans trobem els problemes de l'electròlit líquid que cal anar reomplint –amb aigua destil·lada- i l'efecte memòria, pel qual genera sostres de càrrega després de cada cicle.

Presenta com a especial problema l'elevada toxicitat del cadmi i la capacitat corrosiva de la base forta que actua com a electròlit. Cada element té una tensió nominal de 1,2V amb sostre a 1,25 i fons a 1,05. Un element de mida AA pot tenir entre 0,5Ah i 0,75Ah. La seva densitat energètica és baixa (35Wh/kg) i toleren grans corrents de descàrrega, fins a 40C.

Posteriorment s'han millorat per a poder treballar en sec, sense necessitat d'electròlit líquid.

### 5.3.6 Estat sòlid

En aquesta segona categoria, i especialment en les tecnologies de Liti, hi podríem trobar un cert nivell de màrqueting, ja que el que s'ha fet és fer l'electròlit tant fi com per a ser impregnat de forma nanoestructurada sobre un material que realitza la funció de membrana, donant lloc a noms creatius com ara "Liti", "ions de liti", "liti polímer", "liti nanoestructurat", etc. També caldria afegir que la majoria d'estudis actuals de seguretat refereixen a cel·les equipades en productes de consum de poca potència, sovint LiCo, com veurem a continuació. Noves químiques (Li-S) que varien el volum en funció de l'estat de càrrega no es troben actualment al mercat ni validades suficientment com per ser analitzades, pel que restaran fora de l'estudi.

Els vehicles que utilitzen tecnologies de liti tenen cel·les amb 1/3 menys d'energia específica per motius de cost i fiabilitat, ja que es construeixen de forma robusta i químicament estable. Mentre que la quantitat teòrica màxima d'energia en una bateria de liti no pot superar els 3kWh/kg, les cel·les modernes no assoleixen ni 210Wh/kg. Bo i ser 1/50 part de l'energia continguda en un litre de benzina, el seu alliberament pot ser molt més ràpid i violent durant un curtcircuit.

La llista següent no pretén ser exhaustiva, però mostra les sis tecnologies més emprades d'ions de Liti, i sovint batejades pels materials del càtode, ja que l'ànode és de grafit pur. La base Liti té una toxicitat molt més reduïda que les tecnologies basades en Plom i àcid o Níquel i cadmi.

<b>Nom químic</b>	<b>Materials</b>	<b>Abreujat</b>	<b>Nom comú</b>	<b>Usos</b>
Liti - Òxid de cobalt	LiCoO <sub>2</sub> (60% Co)	LCO	Li - cobalt, LiCo	Telèfon, ordinador, càmera
Liti - Òxid de manganès (Liti manganat)	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	LMO	Li-manganès o "spinel", LiMn	Màquines -eina, bicicletes elèctriques, vehicles elèctrics, eines cirurgia, modelisme
Liti - Fosfat de ferro	LiFePO <sub>4</sub>	LFP	LiFe, Li-fosfat	
Liti - Òxid de Cobalt - Níquel - Manganès (Liti Manganès Òxid de Cobalt)	LiNiMnCoO <sub>2</sub> (10-20% Co)	NMC	NMC	Propulsió i emmagatzematge elèctric massiu
Liti - Níquel - Cobalt - Òxid d'Alumini	LiNiCoAlO <sub>2</sub> (9% Co)	NCA	NCA	
Titanat de Liti (material ànode)	Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	LTO	Titanat de Liti	

Taula 5-2: Nomenclatura dels diversos materials de càtode i usos

Les properes generacions amb ànode de silici podrien potencialment assolir un 30% més d'energia específica.

#### Liti - Òxid de Cobalt (LiCoO<sub>2</sub>)

LiCo és la bateria més comuna, usant-se des del 1991 en electrodomèstics portàtils com walkmans. Té una alta energia específica (180Wh/kg) que la fa adient per a tota mena de dispositius electrònics de consum com telèfons, unitats de memòria externa i centraletes, ordinadors i càmeres. Treballa entre 3,6 i 3,7V depenent de la seva composició, amb sostre a 4,2V i fons a 3V. És una de les candidates a substituir les bateries de plom allà on el pes sigui el factor primordial però no la potència específica

(W/kg). Una cel·la tipus 18650 pot assolir valors normals de 3Ah.

La pila consisteix en un càtode d'òxid de cobalt i un ànode de grafit. L'estructura catòdica és laminada i en descàrrega els ions de liti es desplacen d'ànode a càtode. El seu principal inconvenient és una vida curta i les seves limitacions de potència.

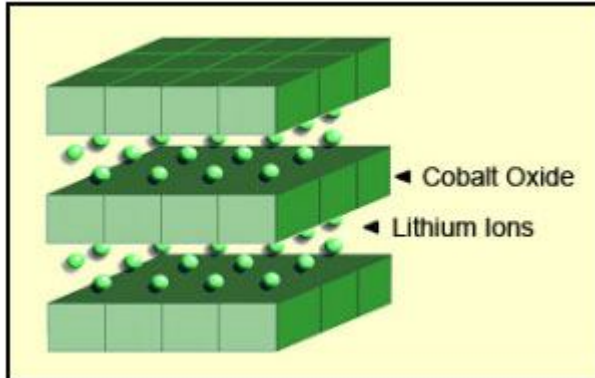


Figura 5-11: L'estructura de LiCo és laminada. (Font: Cadex)



Figura 5-12: Vehicles com el Tesla Roadster munten 6800 cel·les mida 18650 de LiCo (Tesla.com)

Les cel·les de LiCo no poden ser carregades a una ràtio superior a la seva especificació tècnica (1C). És a dir que una cel·la mida 18650 de 2,4Ah es pot descarregar (o carregar) a un màxim de 2,4A. Forçant una càrrega ràpida o descarregant-la per sobre de 2,4A provoca rescalfaments importants. Per una càrrega apropiada es recomana no excedir mai els 0,8C. Aquestes cel·les porten sempre associats a cada cel·la un circuit de protecció (*Protection Circuit Board*) que desconnecta la bateria curtcircuitant el circuit elèctric de manera que es produeix una fallada "segura" del sistema (no talla el subministrament elèctric al vehicle, sinó que en redueix l'autonomia i prestacions). Mentre que la resta de tecnologies de liti poden suportar per uns instants temperatures superiors als 250°C, LiCo només pot resistir fins a 150°C. De totes maneres, temperatures perllongades superiors als 80°C degraden qualsevol cel·la de liti irreversiblement, siguin quins siguin els materials d'ànode i càtode.

En termes de rendiment, el LiCo es podria representar en una teranyina de valors com a continuació, en termes d'energia específica (Wh/kg), potència específica (W/kg), seguretat (en altes 60°C+ i baixes 0°C- temperatures), vida útil (nombre de cicles complets) i cost (que permet saber

quants vehicles muntaran aquesta tecnologia).

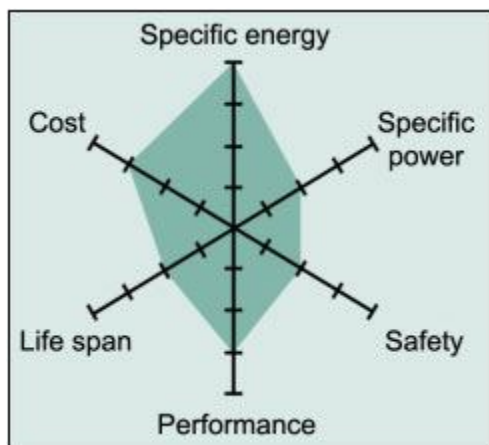


Figura 5-13: Característiques d'una cel·la tipus LiCo.

Destaca en termes d'energia específica (fins a 170Wh/kg). La seva ciclabilitat es troba sobre els 700 cicles complets, uns 220.000km en el cas del Tesla. Suporta puntes de fins a 3C però es recomana treballar sempre per sota de 1C en descàrrega.

(Font: BCG research)

### Liti – Òxid de manganès (LiMn2O4)

La inserció d'ions de liti en *spinel*s com les matrius de 3 en ratlla, de manganès, va ser publicada al "Materials Research Bulletin" al 1983. Al 1996, Moli Energy va comercialitzar una cel·la d'ions de liti amb òxid de manganès al càtode. L'arquitectura forma un spinel tridimensional que millora la mobilitat dels ions al càtode, reduint en gran mesura la resistència elèctrica, i per tant l'escalfament. L'existència d'aquesta estructura metàl·lica li confereix una especial estabilitat tèrmica i alta seguretat, tot i que limita la vida de la cel·la a mesura que es va degradant. La tensió de disseny es troba sobre els 3,8V per cel·la sent molt estable al llarg del temps. El sostre de càrrega és de 4,25V i el fons de descàrrega de 2,8V.

La baixa resistència és un factor clau per a la recàrrega ràpida i la descàrrega amb altes puntes de corrent. Una cel·la 18650 de Li-manganès pot ser descarregada a 20A i 30A, mantenint una temperatura regular. Es poden aplicar pics de corrent de fins a 50A (40C), sempre que es mantingui la cel·la per sota dels 80°C, motiu pel qual es requereix un sensor de temperatura en el punt crític de la bateria.

La tecnologia de Li-manganès s'usa en màquines -eina portàtils, instruments mèdics i alguns vehicles elèctrics i híbrids de gamma alta. En màquines portàtils trobem sovint la versió de més capacitat i en vehicles la versió de menys capacitat però més cicles de vida.

L'estructura bàsica és com una ouera tridimensional que afavoreix la mobilitat dels ions al càtode cristal·lí, en l'estructura enreixada denominada spinel.

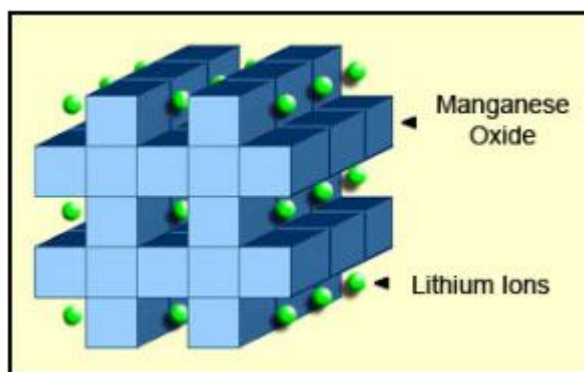


Figura 5-14: L'estructura de Li – òxid de manganès és la base per aconseguir una resistència baixa i unes altes prestacions instantànies.

No obstant l'energia és molt menor que les de LiCo. Representen un perill major en cas de curtcircuit per la seva baixa resistència interna.

(Font: Cadex)

La tecnologia Liti-manganès té una capacitat un terç inferior a les Liti-cobalt, que malgrat això ve a ser el doble de les antigues de Níquel-Cadmi. Una versió de Li-Mn de la cel·la 18650 té només una capacitat entre 1,1Ah i 1,5Ah i una vida relativament curta.

En termes de rendiment, el Li-manganès es podria representar en una teranyina de valors com a continuació, en termes d'energia específica (Wh/kg), potència específica (W/kg), seguretat (en altes 60°C+ i baixes 0°C- temperatures), vida útil (nombre de cicles complets) i cost. Els nous dissenys han millorat lleugerament en termes de potència específica, seguretat i ciclabilitat. Les cel·les de Li-Mn mantenen una gran estabilitat en tensió, motiu pel que moltes no requereixen BMS (Battery Management System, o equalitzador de càrrega). Un exemple d'aquestes cel·les són les de SK energy.

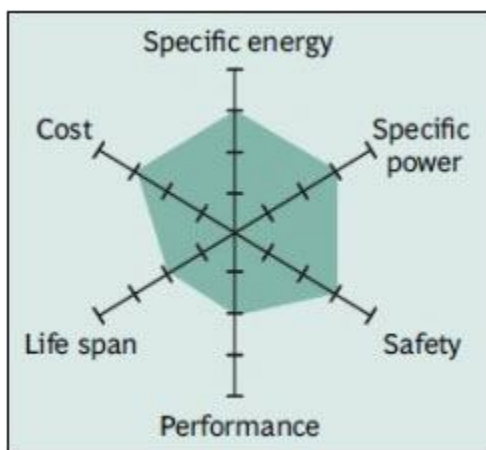


Figura 5-15: Característiques d'una cel·la tipus Li-Mn.

Aquesta tecnologia no destaca en cap aspecte concret, però resulta molt estable en tensió. Caldria remarcar la seva especial sensibilitat a la temperatura. La ciclabilitat es troba sobre els 700 cicles. L'energia específica es mou sobre els 120Wh/kg. Suporta puntes de descàrrega de fins a 30C però no es recomana forçar a més de 10C.

(Font: BCG research)

### Liti fosfat de ferro (LiFePO4)

Al 1996, la Universitat de Texas (entre altres, als jutjats per 5.000M\$ amb problemes de violació patents) varen descobrir que amb ànode de carbó i fosfat de liti al càtode es podien fer bateries recarregables de gran estabilitat. El producte no s'ha comercialitzat fins al 2006 per multitud de fabricants. El fosfat de liti té una baixa resistència per cel·la, entre 3 i 5 mOhm, gràcies al fosfat nanoestructurat.

La seva tensió per element és de 3,3V, fet que redueix la seva energia específica per sota de les predecessores. El sostre de càrrega és 3,65V i el fons de descàrrega 2,65V. Els més grans beneficis d'aquesta tecnologia són la seva altíssima seguretat, la gran estabilitat tèrmica (funciona entre -20°C i +60°C), la tolerància a descàrrega forta o profunda, i les seves altes ciclabilitat i capacitat.

Emmagatzemant les bateries a plena càrrega té un impacte mínim en la seva ciclabilitat tot i que s'haurien de preservar a 3,3V i a un 30% de la seva capacitat. Les bateries de liti fosfat tenen una ràtio d'auto descàrrega relativament elevada, propera al 7% mensual (contra el 3% de les millors de Plom àcid), fet que provoca desequilibris i envelliment prematur en diferents cel·les d'un mateix bloc. Per aquest motiu, es recomana la instal·lació d'un BMS en aquest tipus de cel·la quan funciona en condicions quasi-estàtiques (càrrega).

Aquestes cel·les es presenten empaquetades de forma hermètica en contenidors que cal reforçar, però en condicions d'abús o sobrecàrrega tendeixen a inflar-se de forma irreversible per l'evaporació dels dissolvents orgànics. Les cel·les correctament dissenyades poden tenir aleshores:

- Un punt d'afebliment per on sortien de forma controlada els gasos quedant inservible des d'aleshores
- Una vàlvula de seguretat que deixi sortir els vapors, minvant lleugerament el rendiment de la

cel·la

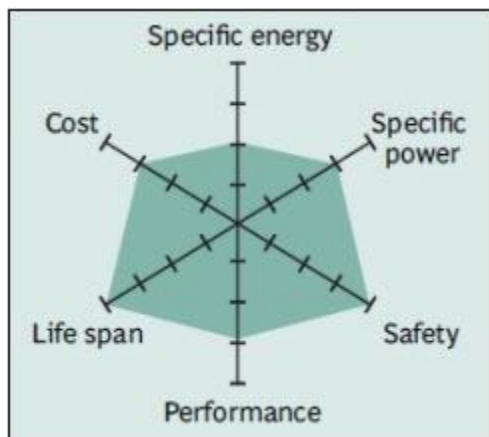


Figura 5-16: Característiques d'una cel·la tipus LiFePO4.

El liti fosfat manté uns altíssims nivells de seguretat per abús –sobrecàrrega- i una vida molt llarga amb una ciclabilitat propera als 1500 cicles, suportant puntes de fins a 30C però recomanant-se per sota de 10C. La seva energia específica és bastant pobre, a un preu molt atractiu, però.

(Font: BCG research)

Per tal de garantir la màxima vida útil, la seva corba de càrrega ha de presentar la característica de corrent constant fins a 3,5V i tensió constant fins a 3,65V. Assolit aquest sostre, ha de presentar periòdicament (un cop cada 10 càrregues) una punta de 4,2V durant breus instants, sovint menys de 60segons, per tal de restaurar el càtode i tornar a baixar fins a un sostre de 3,85V per aturar la càrrega. Aquesta tecnologia no allibera oxigen al càtode i, per tant resulta molt més difícil d'inflamar en condicions d'abús, curtcircuit o penetració.





Figura 5-17: Vehicles com el Think City, el Mahindra Reva Li Ion o el quadricicle Tazzari Zero munten LFP (Think també disponible amb Zebra).

Actualment i per raons d'estabilitat i seguretat, la majoria d'escúters elèctrics i pedelecs, munten la tecnologia LFP, amb potències específiques entre 85Wh/kg i 110Wh/kg.

#### **Liti Níquel Manganès amb òxid de Cobalt. (LiNiMnCoO<sub>2</sub>, NMC)**

La combinació de NMC al càtode en diferents proporcions, permet una personalització de la cel·la, podent fabricar-se en una mateixa línia, cel·les amb alta capacitat específica o alta potència específica (però no els dos aspectes alhora). Per exemple, una cel·la 18650 pot tenir entre 1,5Ah i 2,3Ah, depenent de la seva composició i potència específica. Amb ànode en base silici (per contra de carbó), es poden assolir fins a 4Ah de capacitat, fent un compromís entre ciclabilitat (fins a 1500 cicles) i potència específica. La seva tensió nominal es troba entre 3,6V i 3,7V, amb sostre a 4,2V i fons a 2,9V. Pot igualar els 180Wh/kg del LiCo mantenint uns pics de fins a 10C.





Figura 5-18: Vehicles com el Nissan Leaf anuncien muntar bateries NMC (www.nissan.jp)

El secret del NMC rau en la seva combinació. El Níquel pot donar una alta energia específica, però amb una baixa estabilitat. El Manganès genera un spinel que redueix la resistència interna, bo i reduint la capacitat de la cel·la. El NMC és un càtode escollit sovint per eines d'alt rendiment i per alguns vehicles. Les proporcions 1/3 - 1/3 - 1/3 redueix el cost de producció per l'ús limitat de cobalt.

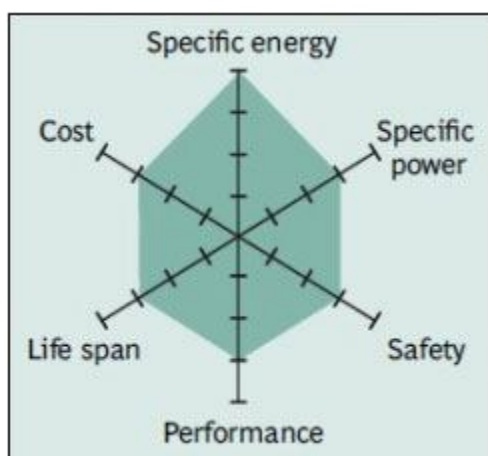


Figura 5-19: Característiques d'una cel·la tipus NMC.

Presenta un rendiment elevat i despunta en energia o potència específica. De totes les tecnologies de liti, aquesta és la que presenta menor resistència interna (menor escalfament).

(Font: BCG research)

### Liti Níquel Cobalt i òxid d'Alumini (LiNiCoAlO<sub>2</sub>, NCA)

La pila de NCA és la més desconeguda, malgrat la seva elevada energia i potència específica i tenir una vida notable. Els seus inconvenients resulten en uns preus elevats i una estabilitat limitada (l'alumini s'inflama en sobrecàrregues).

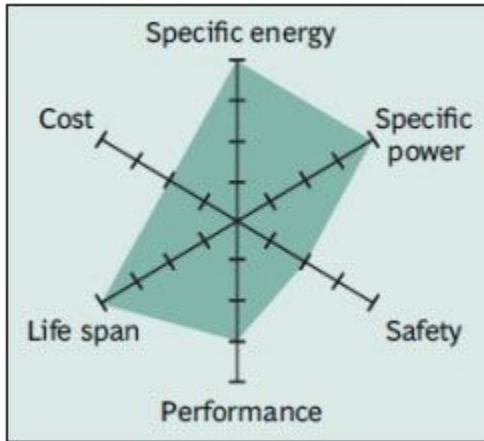


Figura 5-20: Característiques d'una cel·la tipus Li-NCA.

Destaca en energia i potència específica tenint una molt alta ciclabilitat, mentre es reserva per motius de seguretat i cost.

(Font: BCG research)

### Titanat de liti ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , $\text{Li}_5\text{Ti}_5\text{O}_{13}$ )

Aquest material d'ànode és conegut des dels anys 80, reemplaçant el carbó (carboni grafit), formant una mena de spinel. El titanat de liti no obstant presenta una tensió molt menor per cel·la (2,4V per element, amb sostre a 2,8V i fons a 1,8V), però suporta càrregues ultra ràpides i descarregues de 10C en règim continu. La bateria és molt estable, suportant bé baixes temperatures (80% de capacitat a  $-30^\circ\text{C}$ ), però mantenint una molt baixa energia específica (65Wh/kg).

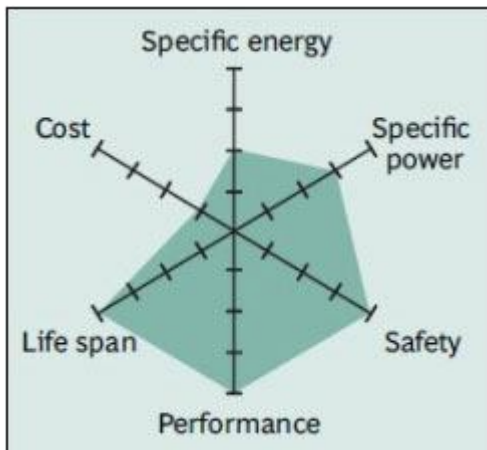


Figura 5-21: Característiques d'una cel·la tipus titanat de liti.

Destaca en seguretat i ciclabilitat en qualsevol condició, mentre que resulta cara i amb escassa capacitat.

(Font: BCG research)



Figura 5-22: El britànic Lightning Car, han anunciat muntar bateries de titanat de liti (Font: [Lightningcars.co.uk](http://Lightningcars.co.uk))

### Níquel Hidrur de metall (NiMH)

Són cosines germanes de les NiCd. Els nous hidrurs de metall descoberts als anys 80 permeten emmagatzemar fins a un 40% més d'energia que amb les NiCd normals, sense contenir cap metall tòxic. Des del 1991, la capacitat s'ha vist doblada. Un element de mida AA treballa entre 1,00 i 1,35V i pot contenir entre 1,2Ah i 2,7Ah de càrrega. El cost (1/3 de Li-FePo<sub>4</sub>) i la seguretat intrínseca d'aquesta química, les han fet pioneres dins dels vehicles híbrids com el Toyota Prius. El preu de les NiMH ha fet que els fabricants redueixin la capacitat de la pila AA estàndard de 2,7Ah a 2Ah, per tal de "satisfer el mercat".

Com a principal inconvenient presenta un elevat índex d'auto descàrrega (fins a un 20% les primeres 24 hores i un 10% mensual). No obstant, per tensions són les úniques que es poden vendre en grans volums de mides AAA i AA, juntament amb les alcalines recarregables de 1,5V que es van comercialitzar a partir del 1990. CEGASA ha aconseguit cel·les amb xifres d'auto descàrrega menors al 5% mensual, anomenades *long life*.

### Níquel ferro (NiFe)

Després del descobriment de la pila de NiCd, Jungner va intentar canviar Cadmi per Ferro, per estalviar. No obstant, aquest canvi va incrementar la formació de gasos i reduir el rendiment de càrrega. El 1901, Edison va continuar millorant la bateria de NiFe per a substituir el Plom.

La bateria de NiFe fa servir un càtode d'òxid/hidroxid, un ànode de ferro amb electròlit d'hidroxid de potassi, generant un potencial de 1,2V. La cel·la de NiFe és robusta a la sobrecàrrega i descàrrega profunda, podent durar fins a 20 anys en segons quines aplicacions. Presenta una gran resiliència als esforços i vibracions (ha estat utilitzada als V1 i V2, i per a senyalització o mineria). Té una energia específica de 50Wh/kg, amb una elevada sensibilitat a la temperatura i una alta auto descàrrega (20% mensual). Amb uns elevats costos de fabricació mai ha pogut rellevar al plom.

### **Níquel-Zinc (NiZn)**

Les cel·les de NiZn, són similars amb les de NiCd, fent servir també un electròlit alcalí, però amb un potencial de 1,6V per cel·la. Va desenvolupar-se als anys 20, però tenen una vida limitada degut a les formacions dendrítiques creixents. Té un sostre de tensió de 1,9V carregant-se a corrent constant i un fons de 1V, suportant fins a 300 cicles, sense materials tòxics ni nocius. Tenen una densitat energètica de 70Wh/kg i accepten puntes de càrrega ràpida.

### **Níquel Hidrogen (NiH)**

A l'any 1967 es van trobar problemes d'inestabilitats als hidrurs metàl·lics (NiMH), simplificant la cel·la a NiH, que avui només s'utilitza en satèl·lits obsolets.

El gas es troba emmagatzemat a mitja pressió (85 bar), emmagatzemat en un contenidor d'acer i flueix a través d'un sistema pressuritzat.

Cada element té un potencial de 1,25V i una energia específica de 65Wh/kg, presentant una llarga vida útil (baixa corrosió, baixa auto descàrrega) i alt rendiment fins a -25°C, que les fan adients per zones fredes o satèl·lits. Cada cel·la costa centenars d'euros.

### **Zinc-aire**

Les piles de Zinc-aire oxiden el zinc amb l'oxigen de l'aire ambient (l'aire té només un 18% d'oxigen), produint 1,65V però que cauen ràpidament a 1,4V. És una cel·la que un cop inicia la reacció d'oxidació, resulta difícil d'aturar, sent irreversible i de degradació ràpida, amb la qual cosa passaria a ser una bateria primària (no recarregable). Les bateries de liti-aire presenten el mateix comportament (alta reactivitat, procés primari poc reversible i controlable).

La seva energia específica és de 350Wh/kg, però la potència específica és baixa. Mentre no s'usa es pot conservar amb una auto descàrrega mínima (1% anual), però en funcionament presenta pèrdues elevades de rendiment en temperatures, humitats altes o en presència de CO<sub>2</sub>.

### **Plata-Zinc (ZnAg)**

La pila de ZnAg s'ha utilitzat per finalitats militars i espai, així com eines que requereixen gran autonomia i on el preu no és inconvenient. L'elèctrode de zinc és sensible als cicles, creant dendrites que poden perforar el separador (membrana), causant curtcircuits.

L' hidròxid de potassi emprat com a electròlit també és un voraç perill per a l'elèctrode de zinc. La cel·la és segura intrínsecament, no conté material tòxic i pot ser reciclada al 100% però la plata en dispara el preu. Va ser utilitzada a les missions Apol·lo orbitals i lunars.

### **Sulfur de Sodi (NaS)**

Les bateries de sodi (o bateria de sal fosa) funcionen a temperatures properes als 600°C, tot i que nous dissenys (NaNiCl-ZEBRA) funcionen només a 300°C. Es poden conservar durant anys a temperatura ambient i un cop arrencades (en calent), presenten elevades densitats i potències específiques.

Les piles ZEBRA tenen una tensió nominal de 2,58V i uns 110Wh/kg, suportant fins a 3.000 cicles i acceptant càrregues ràpides. Només existeixen en formats superiors a 10kWh i l'únic vehicle de carrer que el munta és el THINK City Zebra. Actualment tenen una minva del 14% diari a causa de les fugues de calor.

Després de refredar-se completament la bateria, calen 2 dies per tornar-la a escalfar. La formació de dendrites dispara la ràtio d'auto descàrrega.

### **Alcalina re usable**

Des de l'any 1992, les piles alcalines –recarregables– s'han proposat com a substitutes de les piles convencionals.

La recàrrega s'ha de fer sempre que no s'hagi descarregat la pila per sota del 50%, i suporta fins a 50 cicles. Per sota d'aquest nivell, en resulta la formació d'espècies químiques que fan les reaccions irreversibles, generant hidrogen dins la cel·la i, en el pitjor dels casos, rebentant el continent metàl·lic.

La seva tensió nominal és 1,5V per cel·la i per sota de 1V queda inservible. El màxim corrent de descàrrega és 0,4A en mida AA.

### **5.3.7 Cel·les de combustible**

Sir William Grove, un jove científic gal·lès va desenvolupar el concepte de pila de combustible al 1839, però l'invent no va anar mai més enllà. El tipus més corrent actualment és el de la cel·la d'hidrogen, però també se'n coneixen comercialment de metanol (alcohol metílic), per la seva simplicitat i seguretat en l'emmagatzematge del combustible.

Com s'ha dit, les cel·les de combustible presenten un funcionament lleugerament diferent a les bateries: una reacció redox té lloc entre dos materials separats per una membrana. Mentre que en una pila els elèctrodes i l'electròlit es mantenen tancats en un recinte, en aquest cas són uns fluxos de combustible i comburent els que circulen en un circuit obert. La membrana, que ha de contenir un metall preciós com el platí de catalitzador, presenta una porositat tal que sols permet el trànsit d'ions positius a través, motiu pel que els combustibles s'han de desprendre d'un o més electrons per a poder passar i unir-se amb el comburent de l'altra banda.

Així, els electrons alliberats són capturats als elèctrodes i units als conductors del circuit de càrrega. L'ànode (born negatiu) rep l' hidrogen i el càtode (born positiu) capta l'oxigen en una cel·la de H<sub>2</sub>. Quan la membrana és saturada d'impureses, un mecanisme de control és la purga (regeneració), que força la (re-)circulació de combustible per tal de netejar-la.

Les cel·les de combustible presenten una elevada inèrcia de funcionament cosa que les fa ideals per al subministrament d'energia a càrregues constants al llarg del temps. Cada cel·la d'hidrogen genera un potencial de 0,8V i se solen muntar en blocs o bateries de desenes o centenars d'elements. La densitat de corrent és d'uns pocs mA/cm<sup>2</sup>.

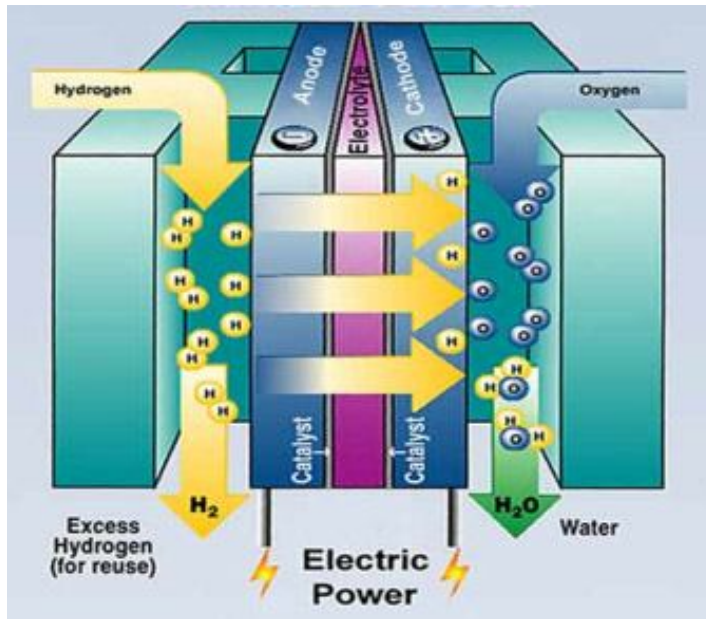


Figura 5-23: L'anode rep el combustible (H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, Hidrazina) i el càtode l'oxidant (O<sub>2</sub>, aire).

(Font: US Department of Energy (DoE), Office of Energy Efficiency and Renewable Energy)

Mentre que una combustió només té un rendiment d'un 20%, una cel·la de combustible (H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>) pot assolir fàcilment el 40%. En termes d'energia, l'hidrogen costa més de produir que la benzina.

L'emmagatzematge d'aquest gas resulta igualment complex en qualsevol de les seves formes: *Slush*, líquid o gas a alta pressió. Per la seva lleugeresa, tendeix a acumular-se en llocs elevats i a dispersar-se amb facilitat, creant atmosferes altament explosives entre el 20% i el 60% en volum i inflamables entre el 4% i 94%. La ràtio volum/energia específica és 24 vegades menor que la benzina, necessitant grans dipòsits amb els riscos que això comporta.

### Pila de combustible amb membrana d'intercanvi de protons (PEMFC)

La membrana d'intercanvi fa servir un polímer com a separador d'electròlit i és el model més habitual. La membrana fina permet tenir un disseny compacte que ajusti en els volums d'un vehicle o una oficina com a font d'alimentació auxiliar. També presenta una arrencada ràpida (menys d'un minut) i una temperatura de funcionament per sota dels 90°C, amb un rendiment d'un 40%. Les considerades d'alta temperatura treballen a temperatures superiors als 140°C, requerint menys platí com a catalitzador i tenen per tant, un cost lleugerament inferior.

Els costos de manteniment i fabricació són elevats i cal un sistema d'evacuació de l'aigua generada en forma de vapor. La complexitat d'aquesta tecnologia rau en haver de muntar 250 elements per tal de poder donar 150V i 300A. Per problemes amb la formació de gel, no funcionen a baixes temperatures i el rendiment cau en picat.

Per tal de mantenir un cabal constant i una temperatura estable, s'equipen igualment compressors d'aire amb els respectius dipòsits i filtres que cal tenir en compte en cas d'intervenció. Una membrana en règim continu pot funcionar durant quasi 20.000h, però les arrencades i aturades freqüents provoquen fatiga i desgast prematur.

### Pila de combustible alcalina (AFC)

La pila alcalina de combustible ha estat la predilecta per la indústria aeroespacial. Els costos de producció i manteniment són moderats. Mentre que per una PEMFC el cost és de 1000€ per metre

quadrat de separador, la membrana alcalina costa 100 vegades menys i la referència d'una cel·la de plom-àcid 200 vegades menys.

Aquesta pila no requereix bombes ni compressors, però és més voluminosa i requereix oxigen i hidrogen en estat pur per a funcionar. La presència de qualsevol altre gas avaria el sistema irreversiblement. No confondre amb les d'àcid fosfòric (PAFC, *Phosphoric Acid FC*).

### Pila de combustible d'òxids sòlids (SOFC)

Es podrien distingir tres famílies de cel·les de combustible: de carbonat fos, d'àcid fosfòric i les d'òxids sòlids. Les SOFC són les menys desenvolupades tècnicament, però actualment es comencen a revisar, ja que nous materials de membrana permeten treballar a 600°C, en comptes dels 1000°C de l'anterior generació, i emprar acer en comptes de ceràmica per a la seva construcció.

Aquestes elevades temperatures permeten l'alliberament de l'hidrogen contingut al gas natural o qualsevol altre hidrocarbur mitjançant un procés catalític, reformant-se en CO i H. Sovint es complementen aquestes cel·les amb cogeneradors fent servir la calor residual de la pila, ajudant a incrementar-ne el rendiment fins prop del 60%. Amb nous materials s'ha aconseguit reduir la temperatura de funcionament i millorar la fiabilitat, però seran difícils de trobar en un futur proper.

### Pila de combustible de metanol (Direct MFC)

Durant els darrers anys, han existit piles de combustible miniaturitzades, on la més popular ha estat la pila de metanol. La pila DMFC resulta barata, simple, amb un rendiment acceptable i la càrrega es realitza reomplint d'alcohol el dipòsit de combustible, sense haver d'aturar la pila. La manipulació d'etanol i metanol és simple i es fa a temperatura i pressió ambientals i no requereix cap mecanisme especial com l'hidrogen.

El següent quadre pretén resumir l'essència de les cel·les de combustible:

<u>Tipus de pila</u>	<u>Aplicacions</u>	<u>Avantatges</u>	<u>Limitacions</u>	<u>Estat</u>
Membrana d'intercanvi de protons (PEMFC)	Sistemes mitjans i tracció de vehicles	Disseny compacte, llarga vida, arrencada ràpida i rendiment 50%	Cara de fabricar i mantenir, necessita H <sub>2</sub> i O <sub>2</sub> , problemes amb l'aigua	Desenvolupat
Alcalina (AFC)	Aeroespacial, transport terrestre, submarins	Barata de producció i funcionament, alta velocitat de reacció	Mida gran, necessita O <sub>2</sub> i H <sub>2</sub> purs	En estudi per costos de producció
Carbonat fos (MCFC)	Generació a gran escala	Eficient i se'n pot treure cogeneració	Electròlit inestable, vida útil limitada	Desenvolupat
Àcid fosfòric (PAFC)	Generació a gran escala	Robusta als combustibles, se'n pot treure cogeneració	Baixa eficiència, vida curta i catalitzador car	Desenvolupat
Òxids sòlids	Generació a	Robusta als	Temperatures	En estudi

<u>Tipus de pila</u>	<u>Aplicacions</u>	<u>Avantatges</u>	<u>Limitacions</u>	<u>Estat</u>
(SOFC)	gran escala	combustibles, rendeix fins al 60% amb cogeneració	elevades, metalls exòtics, cara, vida curta	
Metanol (DMFC)	Portàtil i per a petites càrregues, vehicles	Compacta i alimentada només per metanol	Eficiència del 20%, complexa i de resposta lenta	Desenvolupat

Taula 5-3: Sumari de les piles de combustible

Els problemes existents en les piles de combustible són bàsicament:

- Arrencada lenta
- Resposta lenta a càrregues variables (minuts)
- Mecanismes i algorismes de regulació complexos
- Baixa capacitat de càrrega i escassos marges de regulació (no accepta sobrecàrrega)
- Curta vida útil
- Costos elevats
- Lentitud de les reaccions anòdiques

Com a principal avantatge (seguretat) presenten una potència de curtcircuit molt baixa. La cel·la en buit produeix 0,8V, però quan se la connecta a una càrrega, el potencial cau sobtadament pel que calens dispositius d'optimització de càrrega o MPPT (*Maximum Power Point Tracker*). En cas d'accident l'únic problema que es presentaria és el tall del combustible.

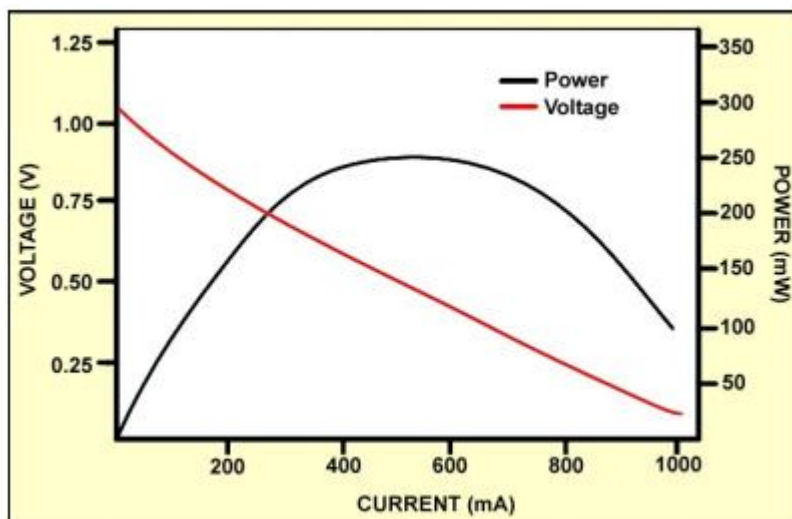


Figura 5-24: L'elevada resistència interna provoca una caiguda sobtada de la tensió en aplicar una càrrega. El marge màxim de potència es troba entre 300 i 800mA, mentre que el rendiment màxim (30%) estaria prop dels 200mA/cm<sup>2</sup>.

(Font: Cadex)

### 5.3.8 Elèctric

En aquesta categoria de dipòsits elèctrics contemplaríem la fenomenologia elèctrica en la seva puresa més absoluta per simple separació de càrregues. Trobem així doncs:



## Supercondensadors

Es podrien distingir tres famílies bàsiques de condensadors:

- L'electroestàtic sec, amb un separador aïllant ceràmic, amb capacitats de micro, nano o picoFarads, emprats per filtrar senyals en electrònica.
- El condensador electrolític: té una capacitat major, amb un separador humit, no és reversible, normalment amb capacitats de microFarads. Normalment emmagatzemen càrregues petites a tensions elevades (12V-700V). En carregar-se en polarització inversa poden arribar a explotar.
- Els supercondensadors (ultracapacitors en anglès, *ultracaps* o DLC *double layer capacitor*), emmagatzemen la seva energia en base a una combinació de camp elèctric en un elèctrode de gran superfície i molt fi i una part de reacció química en una membrana de carboni.

Si bé van ser inventats l'any 1957 a General Electric, la primera patent no va ser comprada fins al 1978 per NEC. Si bé en un condensador normal, la capacitat ve limitada per la superfície, en un supercondensador es combinen les avantatges d'un condensador i d'una bateria, i alguns dels seus inconvenients, com passa amb els elèctrodes, electrolits i aïllants (o dielèctrics). No obstant, el seu funcionament es limita a tensions properes als 2,6V per element.

Aquests supercondensadors permeten càrregues i descàrregues molt ràpides, tenint elevats pics de corrent i unes capacitats de l'ordre de magnitud de Farads a molt baixa tensió (0-5 volts). La connexió en sèrie de més de 3 elements sovint requereix controladors de càrrega per tal d'equilibrar les tensions, com a les cel·les d'ions de liti.

L'energia específica està per sota dels 30Wh/kg, i presenta una corba de descàrrega on la tensió cau a mesura que es descarrega el condensador (mentre que amb bateries, aquesta roman quasi constant). Afegir un convertidor DC-DC per estabilitzar la tensió de bus incrementa costos i afegeix fins a un 15% de pèrdues.

Comparades amb una cel·la d'ions de liti presenten una molt elevada potència de curtcircuit, i un risc elevat en cas de contacte directe.

<b>Funció</b>	<b>Ultracap</b>	<b>Ions de liti</b>
Temps de càrrega	1-10 segons	1-10 hores
Ciclabilitat	1 milió o 30.000h	1.000 o 10.000h
Tensió	2,6V	3,6V
Energia spec (Wh/kg)	5	150
Potència spec (W/kg)	10.000	1.500
Cost (€/kWh)	20.000	1.000
Vida útil (anys)	10	5
Temperatura càrrega	-40°C fins 65°C	0°C fins 45°C
Temperatura descàrrega	-40°C fins 65°C	-20°C fins 60°C

Taula 5-4: Comparativa Ultracaps Vs Bateries (Maxwell Technologies, Inc.)

Per les seves característiques intrínseques, els ultracaps [P032] resulten molt atractius com a complement energètic d'elevada potència punta.

La corba de càrrega respon molt bé a la funció corrent constant fins a 2,6V. Per construcció presenten uns elevats valors d'auto descàrrega (50% mensual).

Per seguretat es recomana la instal·lació de resistors de descàrrega o seccionadors que deixin tensions residuals inferiors als 60V als 5 segons posteriors a la desconexió del sistema, sigui quin sigui

el valor de l'energia emmagatzemada. Igualment, per normativa no poden quedar exposades parts a temperatures superiors a 60°C.

### **Catenàries**

Les línies aèries descobertes (catenàries) poden funcionar en corrent altern o continu (CC/CA) per tal de subministrar flux elèctric als vehicles que hi circulin connectats per una perxa (troleibusos) o pantògraf (trens i metros).

En el cas de treballar (la catenària) en corrent continu, es produeix una problemàtica per la irreversibilitat dels rectificadors amb pont de díodes que es munten actualment. Aquests dispositius electrònics són necessaris durant el frenat regeneratiu, i haurien d'estar formats per elements controlats com IGBT o tiristors per tal de poder ondular i retornar els excedents del motor en mode de regeneració a la xarxa. Per tant, fa que es perdi l'energia si no hi ha una altra unitat que consumeixi l'energia al mateix tram de catenària simultaniament.

Aquestes catenàries, són conductors descoberts presenten un metall llis i polit (perfilat en forma rígida de gran secció o en forma de fil flexible penjat d'uns tensors entre altres combinacions) que conduirà el corrent des de la font d'alimentació fins al punt de consum, que es mou a través de la línia.

## 6 SEGURETAT ALS VE

Als vehicles elèctrics autònoms com bicicletes, motocicletes, trikes, quadricicles, cotxes i furgonetes, l'energia s'emmagatzema en blocs de bateries que van degudament aïllats de l'exterior i treballant en un medi controlat.

### 6.1 Perill d'electrocució

El perill d'electrocució en humans es presenta a partir de diferències de potencial majors de 60V o 30mA en cas de contacte / circulació directa. En les intervencions, resulta ràpid portar a mà un voltímetre i verificar que ho hi hagi cap tensió flotant en el moment de la intervenció.

Un cop desconectats físicament, els components elèctrics no presenten cap problema de manipulació tret de les bateries i condensadors, que poden requerir postes a terra i/o curtcircuits.

Perquè en un accident hi hagi electrocució cal que es donin les circumstàncies següents:

1. Que existeixi un circuit elèctric parts obertes
2. Que el circuit sigui ser tancat pel cos humà
3. Que el circuit estigui "viu", amb potencial connectat
4. Que el cos humà sigui conductor (sense protecció) entre els punts de contacte

Els vehicles elèctrics incorporen proteccions elèctriques contra sobrecàrrega o curtcircuit (fusibles) intercalades en el circuit d'alimentació primari, a més d'un contactor principal que talla tot el circuit. Aquest contactor obre el circuit i és un element vital de control i seguretat.

Els sistemes de corrent contínua de baixa tensió encara no disposen de dispositius diferencials per a seccionar corrents de fuga, que amb tota probabilitat no siguin requerits en el curt termini, per l'experiència adquirida amb carretons elevadors.

En cas de contacte, els dispositius a instal·lar tenen temps recomanats d'actuació per tal de protegir a les persones:

Temps màxim de tall (s)	Corrent de contacte (mA)
>5	25
1	43
0.5	56
0.2	77
0.1	120
0.05	210
0.03	300
0.02	500

Taula 6-1: Corrents de fuga i interval de tall màxim per al cos humà (IEC)

De forma excepcional, cal observar que un desfibril·lador pot assolir els 750V entre 1 i 20 mil·lsegons, aplicant puntes de fins a 15A. I serveix per a salvar al vida, ja que l'energia alliberada (Joules) és menor de 400J i el punt d'aplicació és molt local i concentrat. Igualment, en temps d'exposició molt breus (molt inferiors a 1ms), el cos humà pot suportar els 10kV d'una tanca elèctrica sense suposar un risc per a la salut, mentre l'energia alliberada sigui petita. El mateix passa amb les descàrregues electrostàtiques, on les tensions assoleixen fàcilment 15kV però les energies no superen

100J.

En cas d'intervenció posterior a un incendi, els bassals poden suposar una garantia de bon contacte a terra on es podria connectar un sistema de referència de tensions, connectant les boques de les mànegues i totes les parts del vehicle que hagin de ser manipulades.

Portar als vehicles d'intervenció un cable flexible de 25mm<sup>2</sup> per a ser llençat a la zona mullada en un extrem i connectat mitjançant pinces tipus cocodril a les parts a protegir podria resultar suficient com per evitar incidents per contacte directe. Per evitar la corrosió del cable de coure, es podria emprar cable estanyat o platejat.

Per a la manipulació del vehicle durant la primera fase d'intervenció resultaria apropiat vestir guants aïllants de baixa tensió, per si hi hagués alguna fallada en els sistemes de protecció interns. Un o diversos desconectadors en llocs accessibles en cas d'emergència serien igualment recomanables. Un desconectador principal serà suficient per eliminar les tensions de risc si pot fer caure el contactor principal de la part de tracció. Sovint l'extracció del fusible principal serà suficient.

El perill d'electrocució varia en funció del tipus de contacte i el nivell de tensió: contacte directe/indirecte respecte terra/conductor a molt baixa/baixa tensió.

El contacte directe entre parts vives d'un circuit s'evita mitjançant la protecció i l'aïllament dels conductors, protegint el cos humà en aquests casos amb guants dielèctrics i bótes.

Els nivells de tensió estipulats segons el REBT (art 3 i 4, ITC-BT-36) i RAT (ITC-MIE-RAT-01) es classifiquen en:

<b>Denominació</b>	<b>Corrent Alterna</b>	<b>Corrent contínua</b>
Molt baixa tensió	< 50V	< 75V
Baixa tensió	< 1kV	< 1,5kV
Mitja tensió	< 33kV	< 50kV
Alta tensió	< 330kV	< 500kV
Molt alta tensió	> 330kv	> 500kV

Taula 6-2: Tensions segons el REBT, estàndards industrials, però no en automoció

De forma excepcional es senyalitzaran als vehicles rodants totes les tensions superiors a 60V com a *alta tensió*, per raons de seguretat. Les tensions de 12V 24V 36V 48V seguiran sent de *baixa tensió*. Cal tenir en compte que els estàndards més desenvolupats actualment són els industrials i que, tant el REBT com la normativa IEC refereixen a màquines que no han estat pensades per a vehicles específicament (IEC 60034-X).

En els actuals vehicles hi treballa personal que associa erròniament les bateries amb el concepte de *molt baixa tensió de seguretat* per a evitar accidents en aquest personal, sovint poc expert en electricitat, cal adoptar la denominació de *alta tensió* a partir de 50V, per a evitar que trivialitzin les tensions de centenars de Volts.

Les instal·lacions a MBTS (molt baixa tensió de seguretat), estan alimentades amb fonts aïllades de protecció, conforme a les normes UNE-EN 60742 o UNE-EN 61558-2-4 o fonts amb circuits d'aïllament de protecció no connectades a terra ni a conductors de protecció.

En instal·lacions MBTP (Molt baixa tensió de protecció), els circuits i massa estan connectats a terra o a un conductor de protecció, fet fortament improbable en vehicles automòbils.

Les instal·lacions MBTF (Molt baixa tensió funcional) són les que complint amb els requisits de tensió nominal, no encaixen en les definicions de MBTP ni MBTS.

En ambients humits es considerarà tensió de seguretat aquella que no superi els 24V en corrent continu. En ambients submergits, el valor límit serà 12V.

La norma UNE-IEC/TS 60479-1:2007, "Efectos de la corriente sobre el hombre y los animales domésticos", detalla els efectes del contacte directe i indirecte entre conductors vius i animals.

La perillositat d'un xoc elèctric varia en funció de:

1. El corrent de defecte
2. La duració del contacte
3. El camí de defecte
4. La tensió de defecte
5. La freqüència del corrent

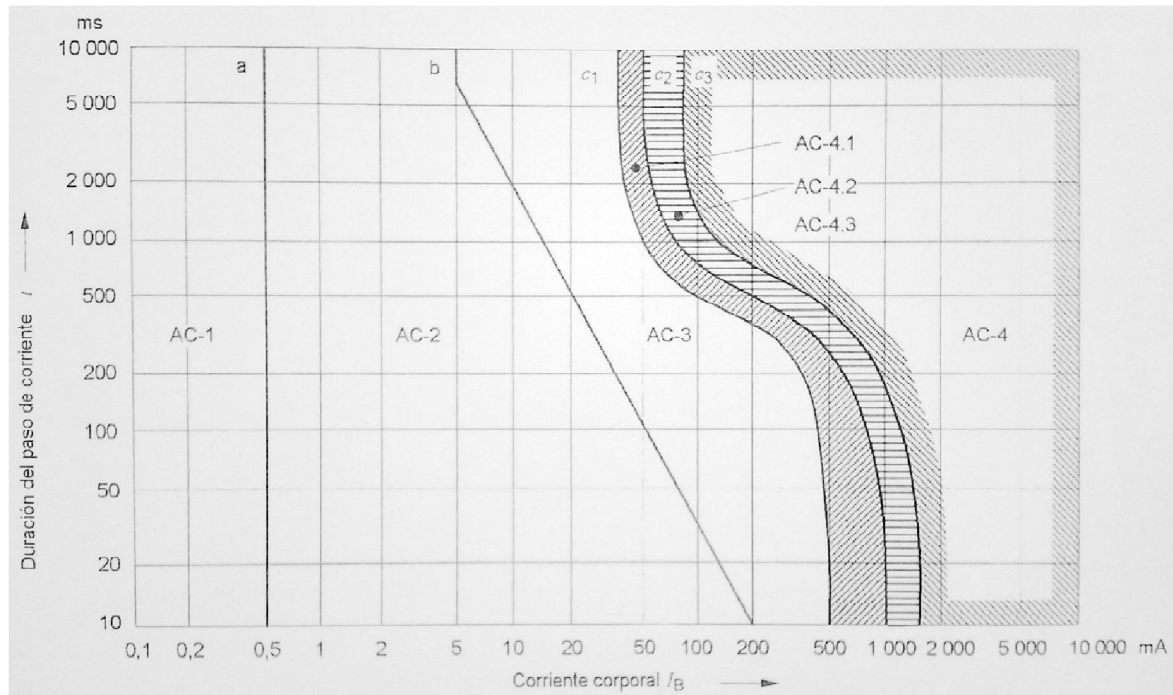


Figura 6-1: Efectes del corrent elèctric en corrent altern (IEC 60479-1)

A la figura 6-1 podem distingir clarament 4 zones que detallarem més endavant:

1. Zona 1: sota el llindar de percepció, delimitat per la línia *a*
2. Zona 2: sota el llindar de no deixar-se anar, limitat per la línia *b*
3. Zona 3: sota el llindar de fibril·lació, delimitat de la línia *c1*
4. Zona 4: zona de mort per fibril·lació, amb probabilitat de fibril·lació del 5% (*c2*) i 50% (*c3*)

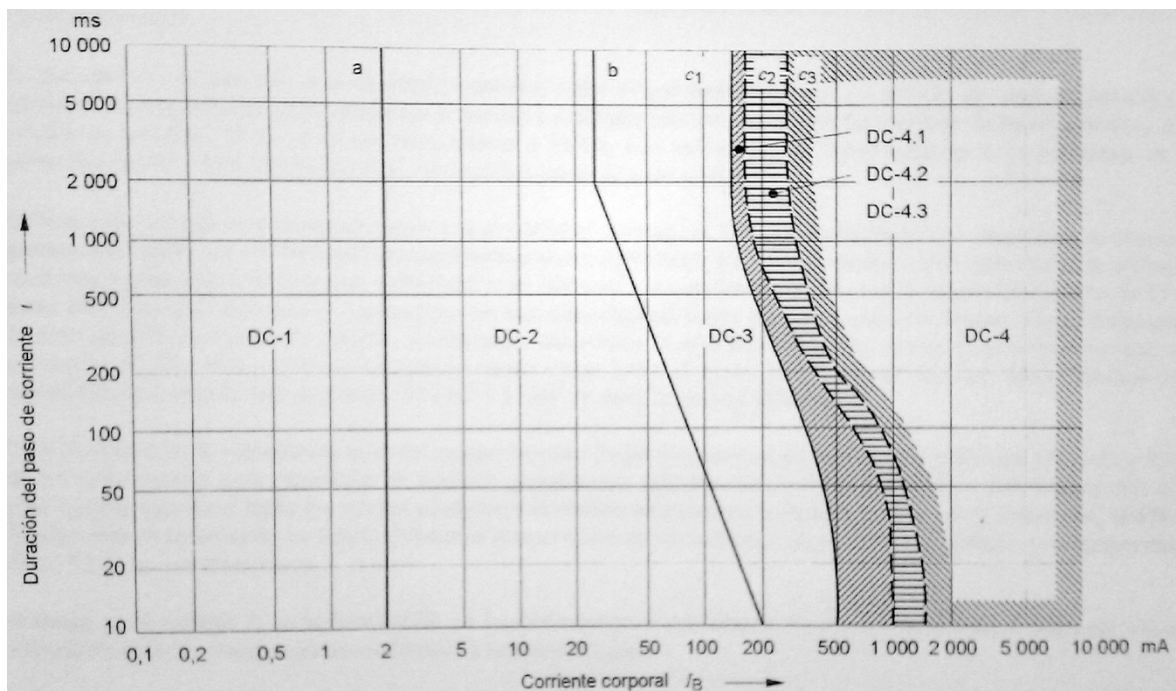


Figura 6-2: Efecte del corrent elèctric en corrent continu (IEC 60479-1)

Caldria posar especial atenció en la fisiologia humana, ja que l'estat (físic i emocional) del subjecte també afecten la conductivitat sent, per exemple, les dones embarassades pitjors conductores del corrent elèctric).

Notem que per als anteriors diagrames hi ha quatre zones ben definides:

1. On el subjecte no pot percebre res per la feblesa del corrent circulant, independentment del temps d'exposició.
2. On els múscles es poden contraure involuntàriament, i en ser els flexors més forts, es provoca una "aferrada" (tetanització) que prolonga el contacte.
3. On existeix la possibilitat de fibril·lació ventricular depenent de si el temps d'exposició és superior o inferior a un cicle cardíac. Igualment es podrien donar casos de pèrdua del coneixement per asfíxia, en contraure's la musculatura abdominal (diafragma). Aquest efecte sol produir-se proper als 30mA circulant pel tòrax.
4. A partir d'aquí, cremades, inconsciència i parada cardíaca són fortament probables. L'efecte joule provoca la coagulació de sang, la carbonització de teixits i l'arc voltaic provoca l'expansió brusca per evaporació de líquids, amb la conseqüent pèrdua de massa.

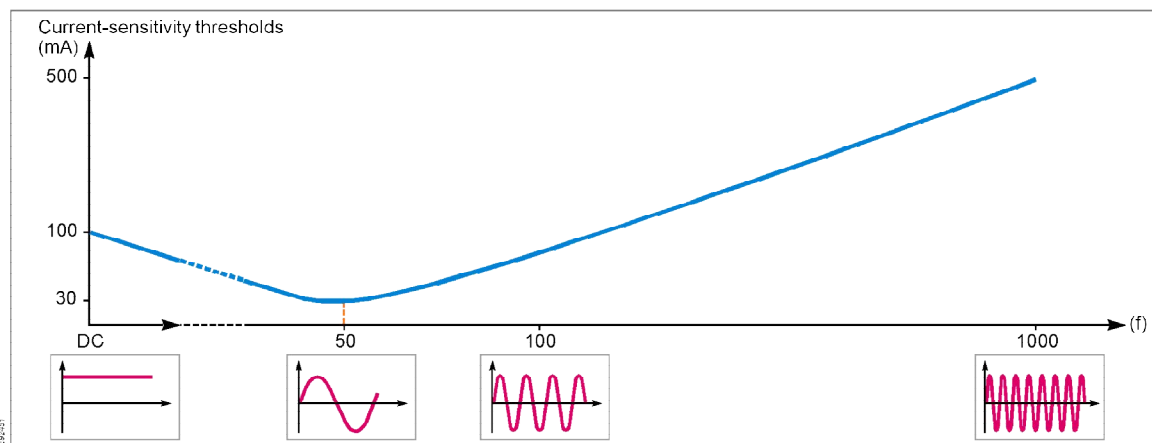


Figura 6-3: Efectes de la freqüència al llindar de percepció (IEC 60479-1)

Els efectes a baixa tensió del pas de corrent són molt majors en corrent altern. En alta tensió, per contra és molt pitjor el corrent continu. Els efectes de l'electròlisi en les substàncies humanes s'agreuja especialment en les perllongades exposicions al corrent continu.

Paradoxalment la resistència elèctrica (en Ohms) del cos humà tampoc és constant, i en el cas de corrent alterna, la impedància es veu afectada per l'efecte pel·licular en la freqüència i els efectes capacitius i inductius dels teixits i fibres nervioses.

Vcontacte	95% població		50% població		5% població	
	AC 50Hz	DC	AC 50Hz	DC	AC 50Hz	DC
25	1750	2200	3250	3875	6100	8800
50	1450	1750	2625	2990	4375	5300
75	1250	1510	2200	2470	3500	4000
100	1200	1340	1875	2070	3200	3400
125	1125	1230	1625	1750	2875	3000
220	1000	1000	1350	1350	2125	2125
700	750	750	1100	1100	1550	1550
1000	700	700	1050	1050	1500	1500
infinit	600	650	750	750	850	850

Taula 6-3: Variacions d'impedància (Ohms) del cos humà en funció de la tensió, temps i freqüència (IEC 60479-1)

La taula superior mostra les variacions d'impedància del cos humà segons la trajectòria mà-mà o mà-peu amb pell seca, mesurada amb exposicions entre 0,1s (25V) i 0,03s (150V) amb superfícies de contacte entre 50 i 100cm<sup>2</sup>. A partir de freqüències de 10kHz, els efectes són similars a corrent continu i a partir de 100kHz els efectes són gairebé imperceptibles, tret de l'escalfament pel·licular.



Figura 6-4: Efectes d'un contacte directe braç-peu (operari en bastida metàl·lica contacta cable MT)

Els efectes i riscos fatals solen ser menors si els punts de contacte es troben en el mateix membre. En una línia de 33kV, un arc pot provocar un corrent de defecte per arc voltaic de 6A a partir de 5cm de distància, amb una potència elèctrica de 180kW, que provoca les ferides de les imatges. Noti's especialment la part interna amb cremades de segon grau degudes a la presència d'un arc voltaic, la necrosi cel·lular per electròlisi de la pell i l'afectació local de la part externa (canal de pas de corrent). Aquesta ferida mà-peu ha estat produïda per un contacte amb mitja tensió d'un operari treballant en una bastida

A nivell de distàncies de seguretat, amb 0,8m es pot treballar amb tensions de fins a 33kV sense perill de descàrrega i així ho indiquen els manuals de seguretat de marques com Toyota.

## 6.2 Efectes diferits

A causa d'un xoc elèctric es poden produir una sèrie d'afectacions multi orgàniques posteriors, entre les més importants:

- Problemes renals, deguts al bloqueig experimentat per haver d'eliminar grans quantitats de mioglobina i hemoglobina presents als múscles contrets i totes les substàncies nocives resultants de la descomposició de teixits.
- Trastorns cardiovasculars, a causa de la pèrdua del ritme cardíac i afectacions al múscul, taquicàrdies i mareigs.
- Trastorns nerviosos, deguts a micro hemorràgies afectant el sistema nerviós central o medul·lar, manifestant sovint lesions prèvies que haurien passat desapercibudes.
- Trastorns oculars, sensorials i auditius, que poden ser transitoris o permanents, a causa d'inflamacions del fons d'ull, per sobre excitació deguda als efectes lluminosos i calorífics. Es pot arribar a la sordera total o a alguna pèrdua motriu permanent, en cas de traumatisme cranial (caiguda posterior al xoc elèctric) i cremades greus internes.

Per tal de procedir a l'assistència d'un afectat, primer caldrà verificar que el sistema elèctric està desconnectat i posteriorment es procedirà a l'allunyament de la persona i el conductor elèctric mitjançant eines aïllades (amb mànec aïllant o perxes elèctriques). En cas de disposar de proteccions rearmables automàticament, serien recomanats una revisió normativa i un marcatge adient.





Figura 6-5: Símbol del doble aïllament elèctric i bateria amb doble aïllament (<http://img.motorpasion.com>)

Els conductors emprats en VE han de venir muntats amb doble aïllament i marcats en color taronja viu. Aquests cables connecten els elements d'emmagatzematge elèctric o generació amb els reguladors i controladors i aquests darrers amb el motor de tracció.

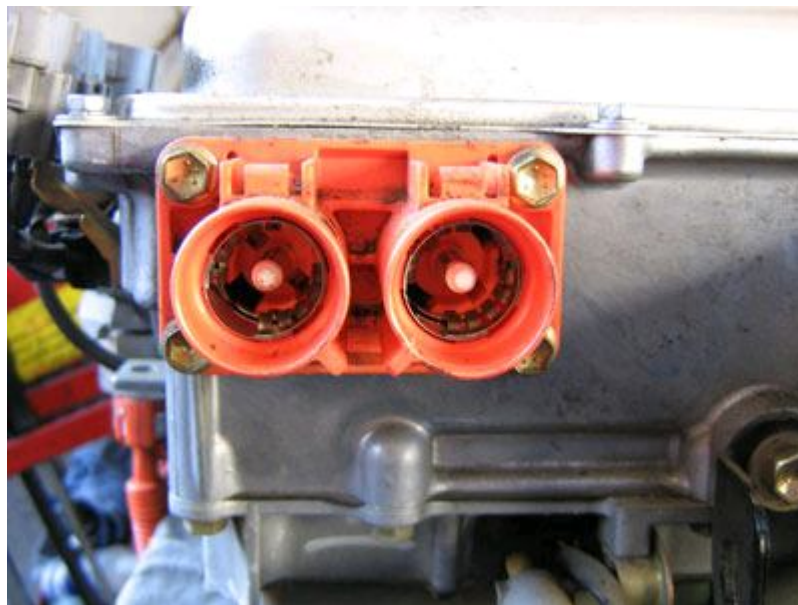


Figura 6-6: El Toyota Prius porta aïllament tèrmic, mecànic, apantallament i aïllant elèctric

Quan els cables corren prop del sistema d'escapament, els cobreix una pantalla tèrmica metàl·lica. En algunes ocasions es troba que la protecció mecànica dels cables la conformen plaques metàl·liques polides, amb el senyal triangular d'avertiment de perill elèctric estampat al llarg del trajecte dels cables.

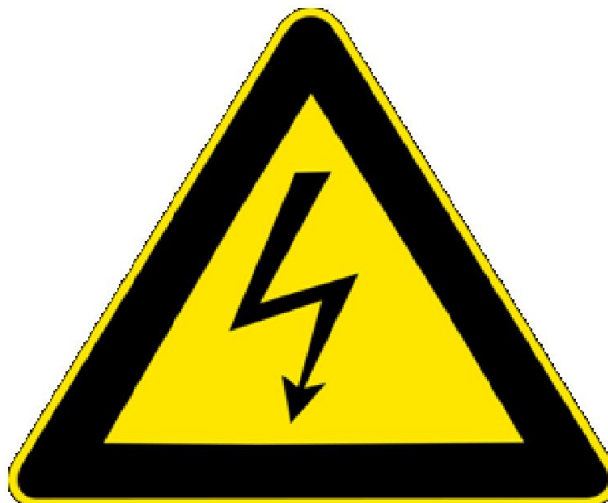


Figura 6-7: Símbol identificador d'alta tensió

### 6.3 Riscos de les bateries

El curtcircuit entre bateries genera grans corrents que han de ser interrompudes per mitjà dels fusibles ja que sinó només limita el corrent la impedància interna de les mateixes cel·les (pocs mOhm).



Figura 6-8: Exemple d'una moto que no incorporava sensors de temperatura ni fusibles intermedis en cap dels blocs de bateries de NMC (2010)

El principal risc que suposen és la formació d'arcs voltaics en corrent continu, que derivarien

en curtcircuits interns o soldadura entre plaques inicialment aïllades i podent desencadenar -a l'extrem- l'explosió. La soldadura de superfícies, generant altes temperatures per arc voltaic, poden emetre ejeccions de partícules incandescents a alta temperatura (flocs d'alumini o perdigons de coure o acer).

Cal apreciar a la figura 6.8, la vaporització total del xassís lateral dret i que els botons d'emergència no van poder ser emprats.



Figura 6-9: En motors amb escombretes, els perills dels arcs voltaics interiors creen problemes de temperatura

La disposició de múltiples fusibles, amb poder de tall suficient com per evitar el curtcircuit en cas de contactes directes entre borns entremitjos de bateries, s'haurà de convertir en un estàndard per tal de garantir un seccionament eficaç amb tall visible. El circuit elèctric ha de tenir igualment dispositius generals de control, com ara un contactor principal i seccionament capaç d'interrompre el circuit en qualsevol circumstància. La formació d'arcs sèrie es veurà interrompuda en tallar el circuit per qualsevol dels punts de comandament.

Les distàncies entre borns de bateries i la seva disposició han de ser el més desfavorables possible al contacte directe involuntari (exemple de borns propers de polaritat oposada i fàcilment accessibles). La mesura de temperatura intermèdia de les bateries és recomanable, especialment en les àrees properes als borns, que sol ser on la temperatura és més elevada.

#### 6.4 Mètodes per tallar el subministrament elèctric de potència

- Retirada de la clau de contacte i apagat del vehicle.
- Congelació d'un bloc de bateries per CO<sub>2</sub> (neu carbònica)
- Retirada dels fusibles de protecció (tall visible)
- Tall d'un conductor i posta a terra de l'estructura curtcircuitada

Pautes de resposta a emergències de vehicles elèctrics

1. Desconnectar
2. Verificar absència de tensió
3. Curtcircuitar entre si i terra les parts actives
4. Bloquejar interruptors
5. Senyalitzar zona treball

Pautes de resposta a emergències de vehicles elèctrics incendiats

1. Acotar zona afectació i identificació del tipus de foc
2. Control i extinció del foc
3. Amb EPI elèctric, procedir a la desconnexió dels elements vius del vehicle
4. Curtcircuitat dels elements amb tensions flotants a terra
5. Desplaçament del vehicle sinistrat i neteja de la via

### 6.5 Seguretat als vehicles híbrid-elèctric

---

Un vehicle híbrid combina múltiples fonts d'energia. En tots els casos, cal emprar els mateixos protocols per tots i cadascun dels orígens energètics per evitar cadenes fatals.

En tot cas, les prioritats són:

- Garantir el control de fugues dels hidrocarburs continguts
- Tallar el subministrament elèctric pel contacte, fusibles o pels botons d'emergència
- Immobilització del vehicle en cas d'haver de practicar excarceracions (oxigen, etc)

En aquest sentit ja s'han posat en marxa programes de formació entre General Motors (Opel Ampera / Chevrolet Volt) i els cossos de seguretat de Chicago.





Figura 6-10: Seqüència de maniobres d'excarceració en un vehicle híbrid als estats units (Detroit FD i GM)

## 6.6 Risc de les bateries

Un seccionament visible, primer per desconexió del contactor principal i posteriorment pel tall visible en treure els elements fusibles es podria completar desembornant la bateria, sent una operació complexa i no exempta de riscos si no és portada a terme per coneixedors profunds del disseny del vehicle.

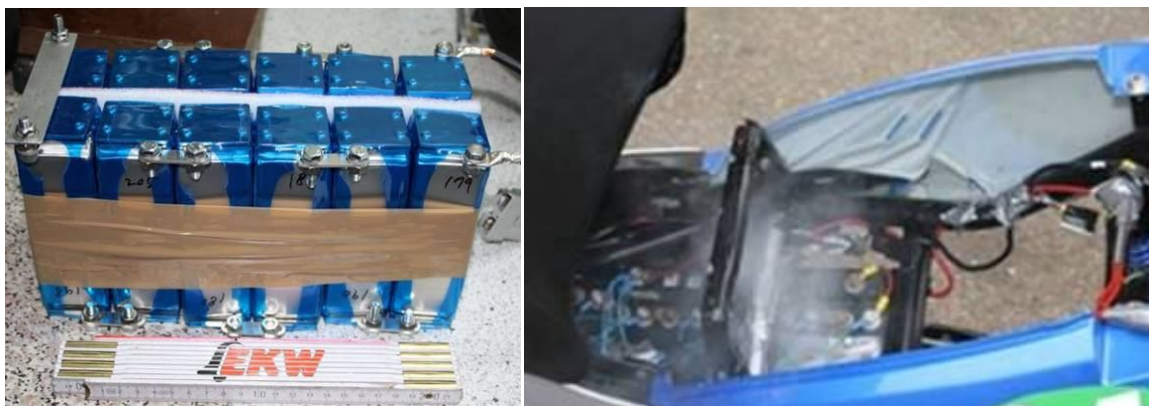


Figura 6-11: Borns exposats de les bateries. Als vehicles comercials no s'hi pot accedir directament (epo-bike.de i Peace'n'love rider)

## 6.7 Mètodes per tallar el subministrament elèctric d'alta tensió

---

Actualment només vehicles amb catenàries fan servir alta tensió (segons el REBT), motiu pel que els protocols són els mateixos que en qualsevol cas d'incident ferroviari. De totes maneres, es recomana la senyalització i marcatge de totes les parts vives del circuit.

## 6.8 Pautes de resposta a emergències de vehicles híbrids

---

En un vehicle híbrid cal aplicar els protocols de seguretat i estabilització d'un vehicle de combustió, seguits dels protocols esmentats per a vehicles elèctrics purs.

Un vehicle híbrid presenta un motor de combustió interna, amb la seva bateria d'arrencada i el seus circuits amb aigua i combustible, pel que pot presentar fugites per fallida de qualsevol d'aquests circuits.

A més, també incorpora un motor elèctric amb el seu sistema de refrigeració i un o més blocs de bateries que cal desconectar íntegrament abans de procedir a qualsevol intervenció.

L'elaboració d'un full de rescat és altament aconsellable per a cada vehicle nou, així com la seva impressió obligatòria, esmentant els punts de tall recomanats i l'accessibilitat de fusibles i cablejat elèctric.

En darrera instància s'hauria d'analitzar la possibilitat de seccionar físicament un únic fil conductor de bateria, per tal de garantir la desconexió total del sistema i la posta a terra dels dos extrems.

## 6.9 Seguretat en la logística del subministrament energètic

---

Actualment es compta amb múltiples tecnologies que permeten garantir un control segur de qualsevol instal·lació, seguint uns criteris de selectivitat.

### 6.9.1 Selectivitat

Criteri pel que es prioritza uns circuits per sobre d'altres i es garanteix la integritat de cadascuna de les branques en cas de fallida d'un element situat aigües avall.

La selectivitat elèctrica és el tipus de disseny que la normativa recomana consistent en posar

proteccions sempre ajustades a les dimensions dels conductors, més grans aigües amunt i proteccions de menor calibre aigües avall.

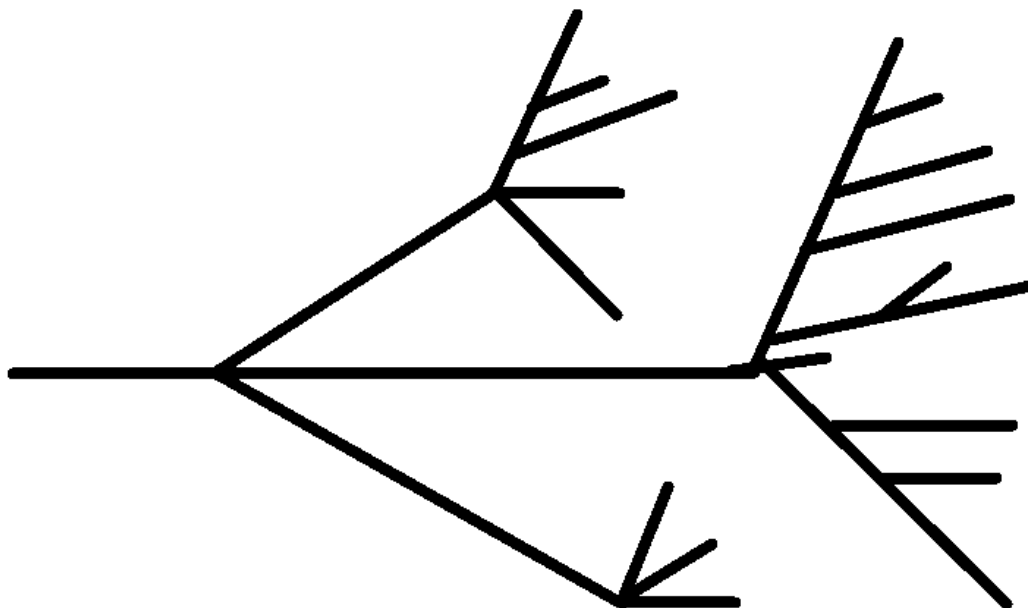


Figura 6-12: Si situem un generador a l'esquerra i consumidors als caps de línia, tenim un esquema en arbre d'aigües amunt a aigües avall

En aquest cas, es garanteix el dispar d'una protecció i la desconexió d'una branca sense afectació a la resta de branques de la xarxa de distribució, respectant els esquemes actuals de distribució. Aquestes proteccions cal que es revisin en esquemes mallats i en generació distribuïda, ja que els conceptes "aigües amunt/avall" varien en funció del temps. El mateix esquema, sense bucles és també vàlid i ha de ser aplicat als terres d'un sistema aïllat.

### 6.9.2 Fusibles

Els fusibles són uns elements de protecció per seccionament mecànic d'un circuit viu. Presenten una corba de tall en funció de la durada i la intensitat de la sobrecàrrega per tal d'oferir diferents nivells de protecció.

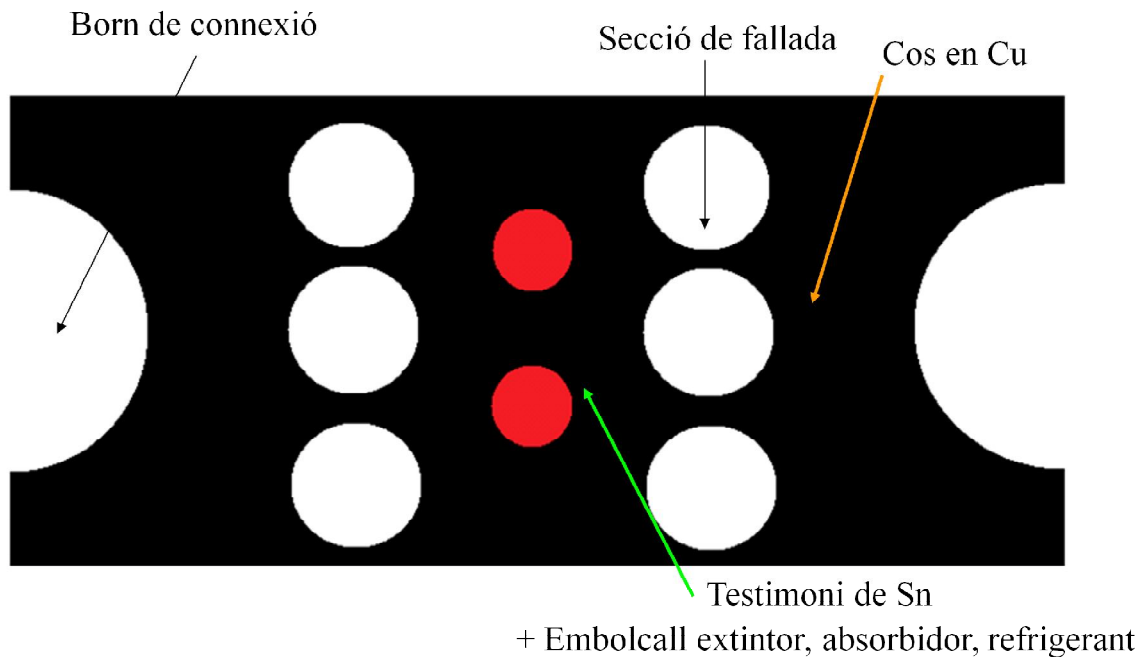


Figura 6-13: Esquema de fusible de coure-estany

Aquest tipus de proteccions no són rearmables i garanteixen que un cop hi ha hagut una fallada, el vehicle ha hagut d'estar intervingut i aquesta peça substituïda adientment.

Caldria notar que a la figura hi ha un testimoni d'estany que se sol situar en una zona acotada per a la temperatura a llarg terme (sobrecàrregues). El nombre de làmines pot variar, així com el nombre de parts escanyades o perforades a dins d'una mateixa làmina.

Els elements fusibles poden i solen estar continguts en blocs ceràmics i/o farcits de sorra que, en cap cas seran manipulats sense la presència d'un pèrit expert. La presència de múltiples zones escanyades en una mateixa làmina provoquen arcs sèrie que ajuden a tallar el curtcircuit.

La zona amb estany sol ser única i presentar-se centrada en l'element fusible. El seu funcionament serveix per donar testimoni de si la fallada ha estat originada per una sobrecàrrega mantinguda al llarg d'un cert temps o per un curtcircuit fulminant. Sota aquestes dues condicions, el mecanisme de fusió és diferent, basant-se en els canvis micro estructurals que la gota d'estany provoca en la làmina base de coure original, transformant-lo en bronze de forma irreversible, augmentant-ne la resistivitat i provocant una fusió controlada de l'element.

Durant l'anàlisi posterior a la fallada d'un element fusible, si es detecta intacta la zona estanyada és que la fusió ha estat per curtcircuit. Si en cas contrari, es troben intactes les parts escanyades, és signe de sobrecàrrega.

### 6.9.3 Magnetotèrmics

Els interruptors magnetotèrmics, interruptors de control de potència o petits interruptors automàtics són dispositius rearmables que permeten un control precís de les sobreintensitats en un circuits, presentant una corba amb dues regions clarament definides: una part tèrmica, on es toleren sobrecàrregues moderades durant temps llargs (10s), i una part magnètica on el tall per sobrecàrrega és immediat i bruscat (0,01s) per tal d'evitar qualsevol dany.



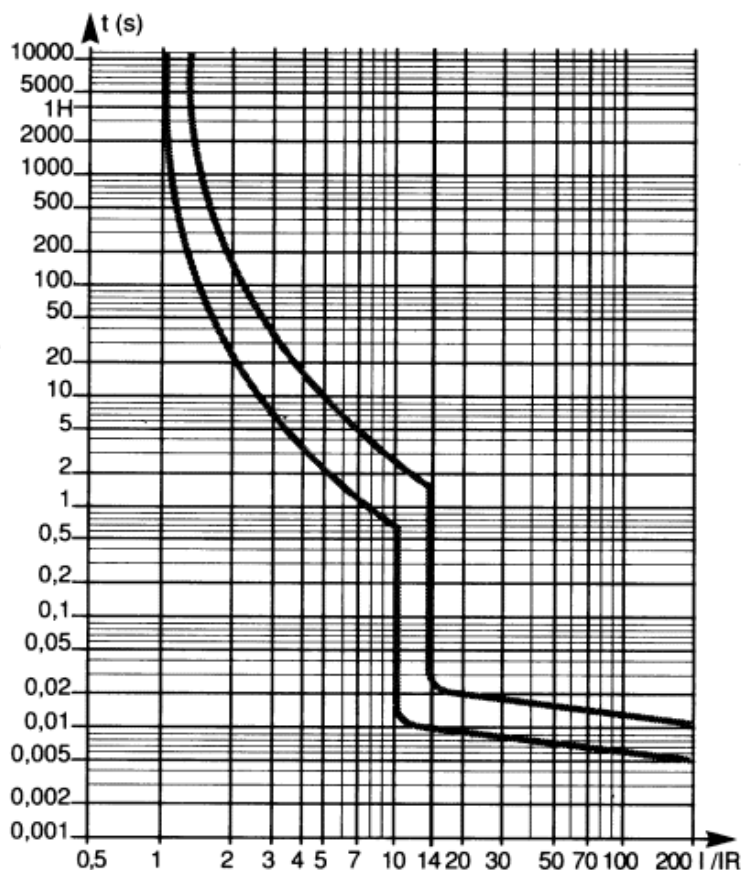


Figura 6-14: Corba tipus d'un magnetotèrmic K

Aquestes proteccions resulten molt més pràctiques ja que no cal substituir físicament cap component després d'un dispar intempestiu, però no garanteixen que hi hagi cap mena d'intervenció per analitzar la causa de la fallada. Els *automàtics* tampoc limiten el corrent del curtcircuit com fan els fusibles.

#### 6.9.4 Proteccions programables

És la darrera tendència de l'electrònica de potència, que presenta pocs problemes de fiabilitat a potències baixes, però dubtes seriosos de cara a la seva utilització en potències elevades: necessitat de seccionament elevat, 5kA, 1kV.

S'estan implementant sistemes de protecció i control integrats en punts de recàrrega de vehicles, de forma que no hi haurà seccionament físic, sinó que un IGBT serà el que controlarà el pas del corrent elèctric o l'interromprà segons una comanda provinent d'una centraleta.

### 6.10 Seguretat amb bateries de liti

Les bateries basades en liti contenen entre 6 i 9 vegades l'energia del seu equivalent en massa que les de plom-àcid. Segons estadístiques del 2006, la ràtio de fallada era de 1:200.000, que malgrat ser baixa, no deixa exempta de risc aquesta composició. Problemes amb el control de temperatura són d'especial preocupació i els fabricants mantenen certes precaucions. Les químiques LiPo presenten inestabilitats irreversibles per sobre de 70°C, que acaben desembocant en curtcircuits fatals, de manera

que no es pot aturar la reacció en cadena.

Sony ha trobat que per algun defecte de manipulació, internament es pot produir un curtcircuit entre dues làmines si partícules de pols de metall contaminen la fabricació. En fabricar làmines de tan sols 20–25µm, la susceptibilitat s'ha vist incrementada i l'empaquetament d'aquests elements s'ha de reforçar. Un exemple clar el trobem en la prova de penetració d'una cel·la 18650 de 1,3Ah i una de 2,4Ah. Mentre que la primera supera la prova amb escreix, la segona nanoestructurada resulta ser una autèntica bomba. Per això, aquestes proves s'han eliminat dels estàndards d'acceptació segons Underwriters Laboratories (UL), com la prova UL1642, ja que sinó cap cel·la d'alta capacitat seria comercialitzable.

Cap mesura de protecció externa pot aturar un curtcircuit intern en una cel·la, ni prevenir el seu escalfament. Per això el màxim que es pot fer és desconnectar o limitar el corrent quan la temperatura puja per sobre de 80°C. En un curtcircuit, alguns punts de la cel·la poden assolir els 500°C i arribar a provocar explosions amb vapors inflamables, conegudes en l'argot com a *rapid disassembly* (desmuntatge ràpid) de la cel·la. Un cop l'energia s'ha alliberat i els materials s'han separat, el risc desapareix.

En cas d'intervenció, resulta preferible l'ús d'aigua dolça o neu carbònica respecte la pols ABC, ja que la prioritat no és extingir la flama, sinó refredar els materials colindants o congelar la bateria. Les bateries de liti no contenen aquest metall en estat pur i per tant, no reacciona violentament en contacte amb l'aigua corrent, però el càtode pot alliberar oxigen gas pur, pel que algunes cel·les poden tenir importants riscos de foc.

Una ventilació apropiada afavoreix també l'extinció allunyant els vapors calents de la font. Per tal d'incrementar la seguretat, els paquets de bateries han d'anar dividits mitjançant separadors aïllants tèrmics i dielèctrics, com ara de fustes tractades o fibres de vidre amb resines termostables.



Figura 6-15: Exemple de sobrecàrrega: una cel·la LCO es reescalfa, rebenta, es desinfla i algunes guspines volen pocs cm.

(Font: Shmuel De-Leon)

Mentre que les bateries completes de liti es poden revisar per seguretat, les altres tecnologies no mereixen menys. Les NiCd (base) i les de Plom (àcid), amb electròlit líquid, tenen importants problemes pel poder corrosiu dels seus electròlits, a més de la creació d'atmosfera explosives durant la recàrrega i la necessitat de manteniment (reomplir amb aigua destil·lada). Si el manteniment és apropiat, les principals causes de fallida són l'envelliment, la manipulació, l'impacte, la vibració o el rescalfament.

### 6.11 Seguretat amb la cel·la de combustible

La cel·la de combustible presenta peculiaritats que no tenen les bateries: un comportament quasi constant incapaç de respondre a sol·licitacions adiabàtiques i una necessitat constant de renovar l'electròlit reductor (hidrogen, alcohol, metà, etc).

En el cas d'extreure l'hidrogen d'hidrocarburs, la separació d'aquest element força l'emissió de grans quantitats de CO<sub>2</sub> excedents de la reacció, per tant presentant un balanç en emissions totals molt superior al MT equivalent, amb les limitacions que suposa el seu ús en recintes tancats o acotats.

Les línies de subministrament de combustible i comburent són altament perilloses, ja que la barreja es realitza entre materials en estat pur per incrementar-ne l'eficiència, fent doncs, molt més violentes les explosions per la manca d'elements inerts en la reacció.

## 6.12 Sistemes recuperadors d'energia

---

La clau per a l'eficiència energètica en el transport no passa sols per l'electrificació del vehicle, sinó per la optimització dels rendiments individuals de tota la cadena energètica i el seu muntatge final. El MT té un rendiment urbà proper al 5%, mentre que les bateries freguen el 30% en el mateix cicle. Els mecanismes de volant d'inèrcia resulten atractius a altes voltes només (altes energies).

En un vehicle interurbà convencional, es necessita una potència mitja d'uns 20kW amb pics de 5 segons vora els 100kW (transitoris, amb potència neta menor de 50kW). Cal però, mantenir aquestes grans prestacions?

Actualment les emissions dels vehicles més optimitzats frega els 2,3kg CO<sub>2</sub>/litre (benzina) o els 2,7kg CO<sub>2</sub>/litre (dièsel), amb consums de 3 litres/100km i 45 CV potència màxima (33kW, VW Lupo 3L, 14k€).

Hi ha importants sistemes de recuperació energètica que poden anar acoblats a un MT:

- Aprofitant l'energia de gasos d'escapament [P094] (benzina: gasos a 1000K)
  - Cel·la termoelèctrica (efecte Seebeck, com ha provat BMW amb un rendiment del 5% i 200W de potència, testat a bypass del 30%. Amb una temperatura ambient de només 300K, Komatsu anuncia haver assolit el rendiment del 7%. Les tecnologies de semiconductors tenen una T<sub>max</sub> de 350K mentre que els bimetalls 900K)
  - Turbines de gas i generador (un turbocompressor requereix 2kW de potència d'escapament)
  - Cicles Rankine amb vapor
- Aprofitant l'energia cinètica del vehicle en desacceleracions (pics de fins a 400W/kg instantanis a absorbir)
  - Volant d'inèrcia mecànic amb variador mecànic (torotrak, flybrid, powerbeam [P024])
  - Volant d'inèrcia elèctric (Porsche [P023][P025][P031])
  - Carregador de bateries (cicles lents [P026], com el Peugeot LMP)
  - Supercondensadors (càrrega immediata)
  - Aire comprimit (10 litres a 30bar) [P014] [P027]

Entre totes les opcions sembla que totes poden ser vàlides, cadascuna dins d'un camp d'aplicació en funció dels costos assumibles, massa i empaquetament del vehicle en sí.

### **6.13 Catenàries**

---

En cas d'incidències en el funcionament normal cal posar en marxa els mateixos protocols que en cas de caiguda d'una línia elèctrica en aquests casos:

1. Tallar la font d'alimentació i desconnectar el circuit
2. Seccionament del circuit i verificació de l'absència de tensió
3. Es curtcircuita i connecta a terra
4. Es posen enclavaments al circuit de control
5. Es senyalitza la reparació i comunica adientment
6. Es repara

## 7 DESGLOSSAMENT TÈCNIC

---

Com s'ha vist a la introducció, el mateix Henry Ford va haver de fer 19 intents abans no va tenir un vehicle satisfactori, però va tirar endavant malgrat els impediments i servint-se del motor elèctric quan va convenir.

Cal millorar la formació sobre electricitat i mecànica, ja que actualment hi ha un gran buit en ambdues àrees tècniques, especialment als nivells de comandament mig i personal de manteniment. En el programa d'estudis d'Enginyeria Tècnica Superior Industrial, del pla 94, s'hi inclou una breu remarca especial pel que fa al camp estratègic de l'energia, que resulta a curt termini insuficient per a la indústria i sens dubte a llarg terme també.

Tot i que pot semblar una decisió prematura, caldrà aprofundir en una tesi més experimental o un projecte industrial sobre el vehicle híbrid sèrie [P004], amb bateria mínima (PHEV), de fins a 5km d'autonomia en pla a 50km/h (uns 2kWh), distingint 3 circuits a bord: dos de potència (DC i AC) i un de servei i control (DC), tocant els següents camps:

- generador superconductor (millora del generador i control)
- motor superconductor (millora del motor tractor i control)
- filtres d'harmònics actius i passius (interns i de xarxa, radiats i conduïts)
- retorn energia cinètica i acumulació fins a 30 segons, 21kW (700kJ)
- control integral de l'energia (com a l'espai) incloent control anticipatiu i modes de fallada
- control de motogenerador (variador electrònic, drive, controller, excitació)
- anàlisi de rendiments en els transitoris (canvis d'estat)
- aprofitament energia residual (tèrmica i cinètica en MT)
- control del bus principal d'energia (supercondensadors)
- control de càrrega de bateries (aïllament, balanceig)

Òbviament, el terme vehicle híbrid que es té en ment actualment és bàsicament el *cotxe particular*, però al llarg del temps el concepte podria mutar en els àmbits naval, agrícola, motociclista o aeronàutic.

Per al disseny i implementació d'un vehicle comercialitzable en competència, caldrà mesurar els valors reals de parell i velocitat angular requerits per a cada sistema, adaptant el pes total del conjunt vehicle i la seva relació amb les prestacions a nivells iguals o superiors que amb la motorització tradicional. Sinó, caldrà rebaixar les expectatives fins a nivells realistes. De totes maneres, el vehicle elèctric amb la tecnologia actual és eminentment urbà (lleuger, funcional, limitat en velocitat màxima).

### 7.1 Grup electrògen (motor tèrmic amb generador)

---

Per ara el grup electrògen s'ha entès (a petita escala de generació) com a pertanyent a una d'aquestes tres famílies (per ordre de potències creixents)

1. Motor 2T Otto i generador síncron (0,2-3kW, monofàsic)
2. Motor 4T Otto i generador síncron/asíncron (2-15kVA)
3. Motor 4T Dièsel i generador asíncron/síncron (10-500kVA)

Per qüestions mediambientals, els motors de combustió interna no poden incrementar més el rendiment d'un 38% ja que en augmentar la compressió s'augmenta la temperatura de combustió i, consegüentment les emissions de NO<sub>x</sub>. Així doncs, el límit sense tractaments addicionals es troba

proper a la relació de compressió 14:1 amb les proporcions estequiomètriques aire-combustible.

En el cas del cicle dièsel, el mal batejat *filtre antipartícules* és un cremador de dipòsits de cendres i carbonats que treu el combustible de la denominada *cinquena injecció*, que es fa a la darrera part de l'escapament dels gasos del cilindre, i que crema en els conductes d'escapament, abans del silenciador. A més es pot afegir a aquest tractament catalitzador selectiu o un additiu com úrea, que cal reomplir de forma sistemàtica [P060].

Pel que fa a la resta de la cadena energètica, i passant a combustibles alternatius que no requereixin tractaments addicionals, es podria contemplar com a primera opció la del gas natural, com a substitut directe de la benzina en un cicle Otto. Malgrat tenir un potencial calorífic específic menor (menys MJ/kg), el seu emmagatzematge i canvi de fase el fan interessant per a usos tant de refrigeració com de generació de calor.

Hi ha dos camps d'estudi que estan poc desenvolupats i que se n'hauria de remarcar la rellevància: el generador superconductor i el seu control. Disposar de materials que a temperatures ambientals o assequibles fàcilment es comportin com a superconductors o hiperconductors és un pas important que permetrà a curt terme disposar de:

- Generadors miniaturitzats de baixa inèrcia mecànica
- Alt camp magnètic i reducció de la reluctància
- Qualitat suprema de la ona generada i baixa THD (taxa de distorsió harmònica)

Com a KERS resulta molt més pràctic un generador amb mode de roda lliure i d'inèrcia elevada, però la màquina esdevé ràpidament pesada, que ve a ser costosa i difícil d'empaquetar en un motor compacte.

Aleshores quedarien definits els generadors per:

- Alts corrents, i elevats camps magnètics (complexitat del control per adaptació d'impedàncies, robustesa de l'excitació)
- Altes inèrcies, amb camps més febles i més robustesa mecànica (estabilitat en freqüència)

A més, aquests mateixos elements generadors poden estar funcionant com a filtres interns i de xarxa, com es va demostrar a la barca Soliport de Rossend Ávila, consumint potència activa o reactiva depenent del règim de gir i del control de corrent.

## 7.2 Motor tractor

---

Seguint les actuals tendències hi ha dues grans línies de treball:

- Imants permanents (inrunners per a cotxes, outrunners per a motor en roda)
- Asíncrons d'inducció (inrunners de flux radial)

Gràcies als avenços en control digital, hi ha una família de controladors amb 6 transistors MOSFET ( $V < 150V$ ) o IGBT ( $V > 150V$ , pèrdua 3W/A) que comparteix arquitectura de potència.

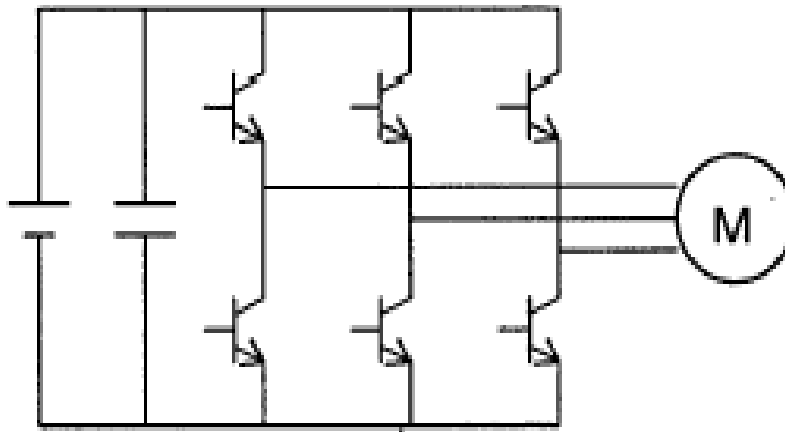


Figura 7-1: Estructura electrònica de potència d'un controlador AC actiu (Siemens)

Malgrat que la lògica de control difereix bastant en un i altre motor, el variador electrònic té la mateixa estructura, doblant-se en cas d'emprar el frenat regeneratiu. L'opció de regenerar afegeix un cost substancial ja que l'electrònica es paga per Amper, i en el cas de recuperació d'energia, els corrents poden ser molt més elevats que durant l'acceleració o el manteniment. Per tenir una referència, un cotxe pot requerir 60kW accelerant, 20kW en pendent constant o 4kW en manteniment de creuer en pla, mentre que frenant es poden obtenir puntes de 400kW fàcilment, per a un turisme de 1500kg en ordre de marxa (ocupants, càrrega i líquids).

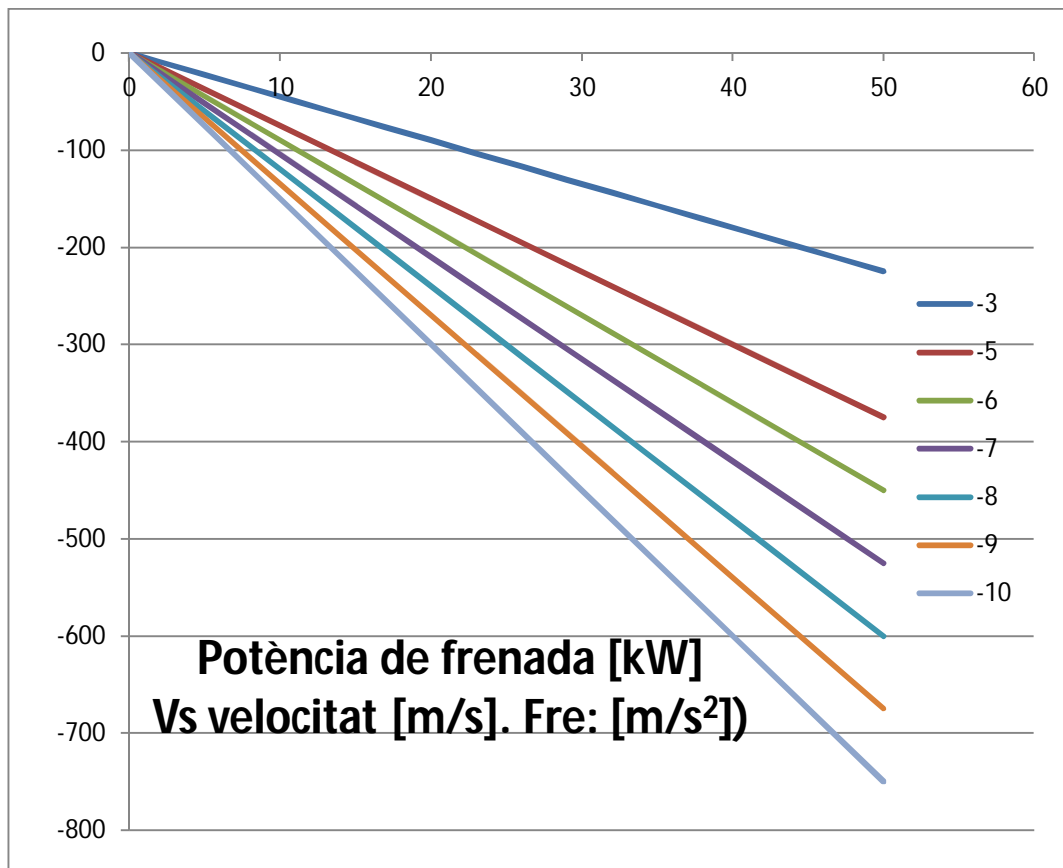


Figura 7-2: Potència de frenada d'un vehicle convencional a frenades entre 3 i 10 m/s<sup>2</sup>

El motor a roda presenta una sèrie de peculiaritats que el fan òptim per a aplicacions d'alt parell

sempre que es requereixin freqüències baixes de commutació per pol elèctric (inferiors a 2kHz a l'estàtor). Normalment disposen d'un gran nombre de parells de pols (28 o 52) i el rotor es situa a la part externa, generant el camp magnètic només amb imants permanents plans, situats per funcionar com a màquina de flux radial. Per limitacions dels materials, la densitat de camp a cada imant és de 1,8 Tesla. Per qüestions dimensionals, son motors pesats per tal d'aconseguir una rigidesa estructural suficient mantenint unes toleràncies dimensionals que minimitzin l'entreferro.



Figura 7-3: Motor a roda (Wheel Hub Motor WHM) d'estructura polar 63/56

Amb empaquetaments com aquest, es presenta un problema de refrigeració dels bobinats. Mentre que els imants poden conduir la calor a través de la llanda on s'encasten, els bobinats poden només radiar cap a les parets que suporten la llanda o la mateixa convecció interna de la roda, que els fa complicats de refredar. En condicions dures de treball difícilment es troba la carcassa per sobre de 43°C, bo i treballar a potència nominal durant gairebé 45 minuts.



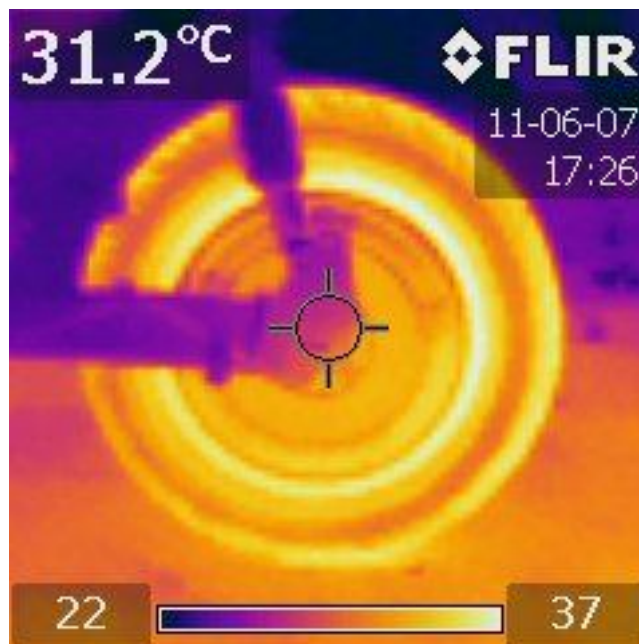


Figura 7-4: Assaig tèrmic del motor a roda a l'estiu de 2011 després de 15 minuts de proves

Amb motors asíncrons en arrencada directa (sense variador de freqüència-tensió), normalment es té una seqüència d'arrencada en Estrella-Triangle (YD). A més, segons la construcció del motor, el rotor d'inducció permet el canvi dinàmic del número de pols. En aquest sentit, experts de companyies de noves tecnologies estan estudiant nous esquemes a 24 i 36 fases, amb transistors molt més petits i capacitats de dissipació superiors.

Caldria recordar que generar el camp magnètic (energia reactiva) suposa unes intensitats que, en el moment d'arrencar donen el parell necessari i que penalitzen severament el rendiment a règims baixos de càrrega (<15%).

Finalment queda la part de re motorització (*retrofit*), per la que alguns vehicles podrien disposar d'una segona vida com a vehicles elèctrics o híbrids. Aquesta opció s'ha de descartar a l'Estat per la política monopolística d'homologacions i verificacions tècniques, a no ser que es canviï.

### 7.3 Aplicacions

Malgrat el creixement experimentat els darrers anys, s'ha contemplat poc la segona utilitat dels vehicles elèctrics i híbrids, sent aquesta i més important la utilització com a SAI en sistemes d'emergència.



Figura 7-5: Vehicle dida *Angel car* (font: <http://www.forococheselectricos.com>)

De fet, després del Tsunami al Japó, una flota de 40 Mitsubishi i-Miev va ser de gran utilitat ja que hi havia electricitat però no petroli a la rodalia de la zona d'intervenció primària. Per tant, es demostra que actualment no hi ha una única solució per a qualsevol problema, sinó que es disposa d'un ampli ventall de solucions tècniques que s'han de saber escollir segons les circumstàncies.

L'ús de màquines rotatives per a la generació permet un filtratge dinàmic d'harmònics actiu, ja sigui interns (d'una illa de consum) com de xarxa, on es pengi.

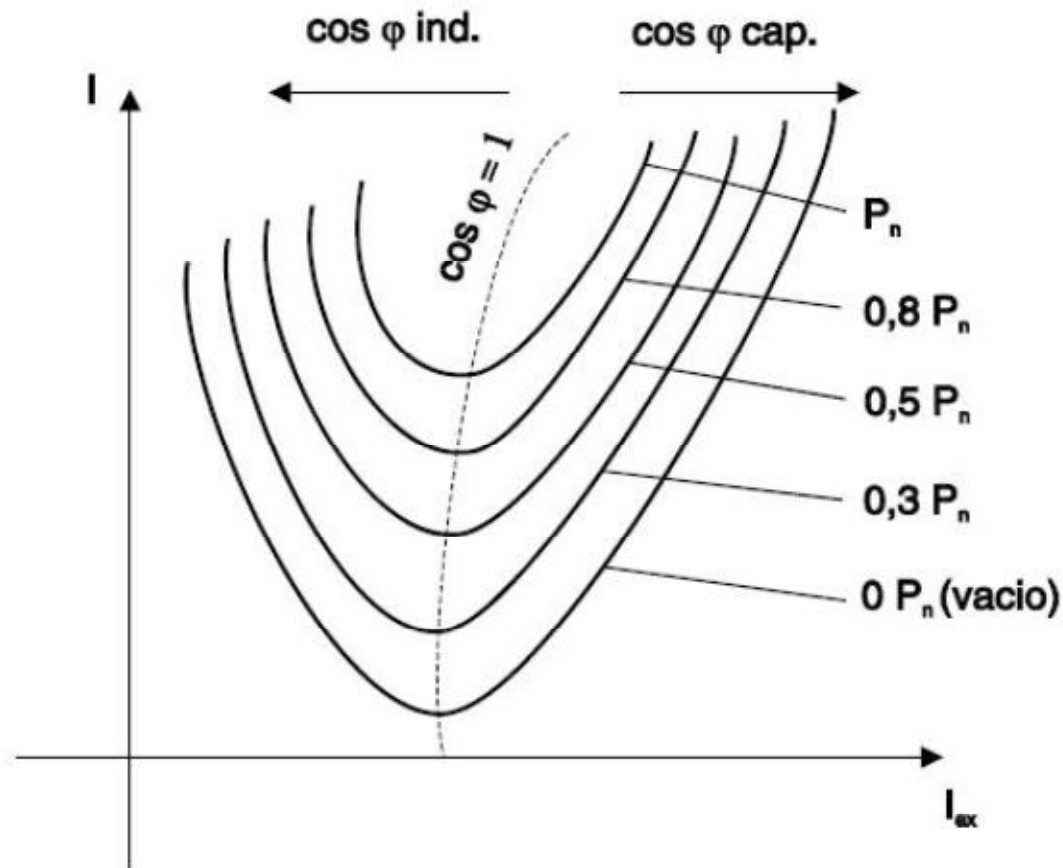


Figura 7-6: Comportament del generador síncron de l'embarcació Soliport (FNB)

Un altre benefici del generador és la sortida tèrmica: els gasos d'escapament i la refrigeració necessaris per al funcionament del generador suposen una sortida d'un gran flux energètic que cal limitar i controlar.



Figura 7-7: Vehicle dida japonès (<http://www.motorpasionfuturo.com>)

Actualment es coneixen perfectament definits els comportaments en condicions estacionàries de màquines elèctriques i de combustió, però no tant els seus estats transitoris, que disparen els consums. Mitjançant un banc de bateries a mode de tampó, aquestes transicions es poden fer de la manera més ràpida mentre que es minimitza el consum energètic. A més, això pot donar lloc a la cogeneració, un altre producte que podrà ser degudament tarificat en vehicles dida híbrids.

## 7.4 Consums dels vehicles

---

### 7.4.1 Consumidors d'energia elèctrica

Abans de voler atacar el problema de consum, cal veure què se'n fa de l'energia en un vehicle actual, observar i mesurar amb cura quan i on s'activa cada subsistema i pensar en un sistema com a tal, format per moltes unitats singulars que poden ser controlades a l'ensems. Tal i com diu David Royce [P036], cal no només mirar el consum del tren rodant, sinó també de tota la resta d'elements que munta el vehicle.

### 7.4.2 Sistemes auxiliars del cotxe actual

- Llums
- Climatització
- Assistència a motor i reguladors

- Refrigeració i lubricació
- Centraletes de comunicacions
- Assistència a la direcció i frenada
- Entreteniment i multimèdia
- Seguretat activa (coixins, tensors) [P018]
- Tall i proteccions sistema elèctric (contactors)
- Control de la informació de la centraleta
- Seients i confort
- Llunes, vidres, netejadors
- Motor d'arrencada

Per ordres de consum, els principals consumidors continus són el sistema d'aire condicionat (7kW), la direcció assistida elèctrica (3kW), el motor d'arrencada (2kW), i els servomotors (portes, llunes, netejadors, bombes, pretensors) que generen puntes de 60A durant 100ms. Llums i infotainment sol suposar una càrrega de 500W o menys, i la resta de centraletes suposen uns 10W per CPU.

### **7.4.3 Estructura i control actiu**

Com bé hem vist, hi ha dos grans tipus de VE. Mentre que en els adaptats s'aprofiten les pesades estructures de xapa dels vehicles convencionals, els electromòbils presenten sovint estructures bàsiques en xapa o tubulars i grans quantitats de materials reciclats i reciclables, com ara plàstics i fibres que els confereixen especial lleugeresa i absorció del soroll i vibracions. De fet, les carrosseries autoportants dels Porsche més avançats dels anys 70 havien arribat a pesar 130kg (base d'alumini i fibra de vidre), però el model de producció lleugera no era rendible i van optar per productes més simples i pesats.

A nivell europeu s'estan destinant grans dotacions pressupostaries (subvencions [P008]) per a projectes com el *superlight car* [P019] [P020][P028], on es busca mantenir les dimensions del carrossat reduint un 30% la massa i amb un preu mitjà objectiu de 5€/kg (el cost actual del cos del vehicle convencional és de 8€/kg).

En el camp estructural, cal també comptar amb la massa de l'interior: escumes insonoritzants, seients, plàstics, àudio, airbags i demés. Actualment s'opta per materials exòtics com fustes rares, pells i compostos per donar un grau superior d'acabat, menystenint la reciclabilitat.

L'electrificació del vehicle obre una nova porta a un re disseny complet del VE, des de l'emplaçament dels sistemes mínims (volant, controls) fins a una llibertat a la disposició de seients i càrregues.

Dins de l'estructura s'ha de donar cabuda igualment a gran quantitat d'elements com:

- Fibra òptica per infotainment (més simple, ja que no cal apantallar cables, no hi ha interferències)
- CAN bus per sistemes de seguretat i funcionament primari (duplicat de línies). Tenint en compte apantallaments i marinitzacions en ambients humits
- Línies d'alimentació a tots els sensors i elements interiors
- Calefactors (alguns incloent un petit calderí de gasoli separat)

## 7.5 Recuperació de l'energia

---

Des de la FIA (Federació Internacional d'Automobilisme) s'està promovent l'ús de sistemes que permetin recuperar l'energia d'una frenada. Així, es reduirien substancialment les pèrdues per inèrcia i dissipació d'energia durant la frenada. Actualment, un KERS de 700kJ pot retornar 60kW durant 10 segons, temps més que suficient com per a poder fer front als continus revolts d'una competició.

En els cicles reals interurbans resulta poc avantatjós, ja que només hi ha frenades en autopista als peatges de Catalunya. No obstant, a les ciutats es pot recuperar un 75% de l'energia entre 60km/h i 30km/h. El 25% restant seguirà perdent-se pels frens.

### 7.5.1 Cicles de càrrega

Als cursos impartits a la UPC pel Dr. Ricard Bosch, s'ha fet sempre èmfasi en el dimensionament de la màquina elèctrica en funció del cicle i dels requeriments externs.

En aquest sentit cal destacar diverses categories que caldria tractar més profundament, sent sempre cicles tancats:

- Vehicle purament elèctric: cicle urbà [P070] "Barcelona" (Carmel, Tibidabo, Montjuïc, superant pendents, semàfors i la boira salina del port)
- Vehicle híbrid: cicle "Montserrat" (anar des d'un punt de Barcelona a una estació de muntanya)
- Vehicle elèctric marítim: cicle lent "FNB" des del moll més proper a la FNB fins a la boca del port i tornar a velocitat reglamentària.
- Vehicle híbrid marítim: cicle "Ebre", vorejant la costa fins a 12 milles nàutiques per caracteritzar el cicle d'onades petites (Mediterrani) a Sant Carles de la Ràpita.

Cal tenir en compte que, al vehicle híbrid terrestre, li resulten molt favorables els ports de muntanya d'ascens pronunciat i descens per la part més suau de la ruta, ja que regeneren més energia si aquesta entra a les bateries de forma suaument esglaonada.

En tots els cursos es procura treballar millorant les habilitats més valorades fora del rang acadèmic: responsabilitat i compromís, flexibilitat, relació interpersonal, ús d'altres llengües, motivació, innovació, treball en equip, gestió d'equips i aprenentatge autònom [P054].

### 7.5.2 Consums auxiliars

Aquests consums són l'actual mal dels vehicles de combustió convencionals. Disposen d'un generador de rendiment molt pobre (<40%), que és mogut per un motor de rendiment nefast (15%). Per tal de generar 1kW continu a 13,8V, cal consumir 15kW (1,5kg/h) de combustible.

El desplegament massiu de llums de dia, i la conducció habitual amb llums antiboira suposa una despesa mínima de 0,2kg de combustible per hora i vehicle, fet que s'hauria de replantejar si no es disposa de llums LED de baix consum i les necessitats lumíniques no ho fan estrictament imprescindible.

En un vehicle elèctric, s'ha d'emprar el mateix esperit econòmic que en una nau espacial: si no aporta cap avantatge evident, s'ha d'eliminar el consum per tal d'allargar al màxim l'autonomia i la vida del vehicle.

### 7.5.3 Frenat regeneratiu (o no consum)

A més del KERS, un altre mecanisme important d'estalvi és el conegut *start-stop* o mal

anomenat *micro híbrid*, consistent en aturar el motor de combustió interna durant la darrera part de la frenada i l'aturada del vehicle. Aquest comportament resulta pràcticament nul per a aturades inferiors al minut, ja que la bateria convencional s'ha de tornar a carregar amb un rendiment nefast.

Els vehicles híbrids amb motor elèctric tenen a més l'opció de disposar de frenada regenerativa, d'aturar el motor de combustió interna des del primer instant que es prem el pedal de fre.

Segons les proves fetes al vehicle de proves (Toyota Prius 1.5VVT de 2007), la reducció més notable de consum es fa durant les baixades i els embussos (validant les teories de Nick Bradley [P079]), ja que regenera energia i manté tots els sistemes de combustió aturats esperant que arribin puntes de consum. Cal mencionar que el vehicle disposa d'una electrificació total (Compressor de l'aire condicionat, bus 12V normalitzat, servofrè, direcció assistida, fre d'estacionament) per tal de disposar de plena maniobrabilitat i funcionalitat en qualsevol circumstància d'ús. És a dir, que el principal estalvi energètic es produeix quan el motor tèrmic no crema res.

#### **7.5.4 Biomassa i cogeneració**

En un darrer detall de l'anàlisi de fonts energètiques [P082], caldria seguir investigant en l'aprofitament d'energies residuals, ampliant la visió de l'energia cinètica a un vehicle a les possibilitats que plantejaria treballar amb dispositius de combustió externa per tal de consumir biomassa.

En el cas de màquines industrials (tractors, recol·lectadores, retalladores, trituradores) per a l'explotació agrícola i forestal, resultaria d'interès prioritari, ja que l'energia consumida es podria extreure directament del mateix lloc on s'estigués treballant, eliminant una part important de costos d'explotació.

L'electrificació progressiva del segment agrícola representa una oportunitat important de negoci, ja que planteja una reducció de la dependència energètica de l'exterior. A Catalunya deixem perdre cada any entre 400.000 i 500.000 tones de biomassa, com es presentava a la proposta de tesi [P046]. És més, suposa una avantatge, perquè s'aconsegueix eliminar més CO<sub>2</sub> si s'ajuda a incrementar el creixement de la massa vegetal [P047]. A Espanya, Acciona hi està invertint fort [P048].

## **7.6 Gestió de l'energia: tipologia de càrregues**

---

En qualsevol vehicle elèctric el bus principal de potència ha d'anar monitoritzat i estabilitzat i protegit en tensió, a més d'incorporar els elements de regulació, monitorització, protecció i seccionament de corrent. Els supercondensadors son una arma de doble tall per la seva elevada capacitat per absorbir o retornar sobreintensitats, en els transitoris de càrrega i descàrrega, i cal anar en compte amb el seu embarcament.

Per tal d'estabilitzar la tensió del bus principal no només hi ha mitjans tècnics sinó que també hi ha estratègies com la prioritització, que permeten establir una jerarquia i eliminar consums dels que es pot prescindir durant uns breus instants, per tal de mantenir el consum energètic el més estable i contingut possible.

La prioritització és un tipus de disseny complementari a l'anterior, que estableix prioritats de desconexió en cas de sobrecàrrega del sistema, desconnectant les càrregues per nivells de seguretat, tenint els següents nivells (en vehicles):

- Crítica
  - Relatiu a seguretat i integritat (neteja parabrises, llums, encesa)
- Essencial
  - El que garanteix la funcionalitat (propulsió)

- Principal
  - Auxiliars a l'essencial (servo assistències)
- Interrompible
  - El tall temporal afecta poc (aire condicionat, calefacció, vidres, ràdio, bluetooth, GPS)
- Excedents
  - Accessoris prescindibles i/o normalment no operatius (llums decoratius, infotainment)

En aquest punt, es comença a veure que la prioritització en un vehicle autònom té molt a veure amb els satèl·lits, i que la gestió eficient de l'energia a bord és vital per assegurar l'economia de funcionament i una qualitat en el subministrament energètic.

Tècnicament caldria remarcar que durant la recerca no s'ha trobat cap empresa catalana que es dediqui a temes d'optimització energètica mitjançant la prioritització i que només una tesi al país [U026] planteja una solució basada en aquesta teoria.

Com a requeriments de la gestió energètica caldria establir els mateixos estàndards que porten muntats els satèl·lits i estacions espacials i que és també seguit pels plans horaris, diaris i mensuals de les plantes generadores del nostre país:

- Control anticipatiu. Cada element dels presents en un sistema té un temps de resposta propi. El govern general ha de poder comandar esgraonadament aquesta demanda, per evitar sobrecàrregues i minimitzar aquest transitori.
- Modes de fallada segura. En situacions extraordinàries es poden donar errors, que han de desencadenar en fallades que no suposin cap risc ni per als ocupants del vehicle ni per als equips externs de rescat.
- Registre d'alarmes. Una caixa negra seria un estàndard de baix cost, on sols caldria registrar els 30 segons anteriors a una aturada per a conèixer quina ha estat la seqüència i per què es pot haver produït (curtcircuit, sobrecàrrega).

Com a exemples a l'espai trobem els registres de telemetria, que son analitzats amb detall a les estacions de terra, prèviament a qualsevol anàlisi d'altres dades. Es registren dades de corrent, de tensions, de temperatures i de connexions amb odres donades cronològicament i *acknowledge* (un bit d'acusació de rebut).

A més, cal mesurar contínuament si la seqüència de desconexió és efectiva o no. Per exemple, en cas de seccionar un circuit i on encara hi circuli intensitat, apuntaria a una fallada i caldria revisar les proteccions. A més, si tot funciona com és degut, el mateix sistema podria informar de la seqüència d'arrencada.

## 7.7 Perspectives

---

Quin serà el vehicle del futur? Les cartes que estan sobre la taula són elitistes i apunten a nínxols de mercat que sols poden ser sufragats per ens públics o persones amb alt poder adquisitiu.

Entre les principals àrees de treball i degut a les limitacions importants que suposen, es treballarà fortament en la millora de l'energia emmagatzemada a bord, fins arribar probablement als 200Wh/kg o 300Wh/kg, mentre que la benzina seguirà mantenint els 10kWh/kg.

Alternatives a l'ús del vehicle privat estan emergint però, amb certa recança per a la majoria d'usuaris. La propietat fixa d'un vehicle presenta grans inconvenients als propietaris, que podrien disposar de vehicles en *carsharing*, o *pooling* segons la necessitat, però la imatge dura de possessió d'un

vehicle és fortament implantada en un país endarrerit socialment com Espanya.

Una clara aposta per la concepció modular del vehicle podria donar sortida a l'estancament actual (com ara ho són els autobusos i camions: xassís, motor i carrosseria de diferents fabricants), que permeten uns vehicles més ajustats a les necessitats de l'usuari, més personalitzats i intensius en mà d'obra d'alt valor afegit. Alguns fabricants ja fa dies que treballen en la hibridació sèrie dels seus models urbans [P075].

Igualment s'hauran d'implantar millores aerodinàmiques notables, en la mida i forma dels vehicles, atacant principalment els vehicles més petits (ciclomotors i segment L) i els més grans (segment de luxe M). El re dimensionament ajudarà a millorar la seguretat, que en aquests moments es veu seriosament compromesa [P052].

La més que probable (bo i que lenta) integració de sistemes de gestió intel·ligent del trànsit, la limitació a velocitat variable i tarificació per zones de circulació, permetrà una adaptació natural del trànsit al públic en general [P049]. L'usuari ha de ser qui pagui els elevats consums energètics i les taxes pertinents, malgrat que existeixin dispositius automàtics de limitació de velocitat. Matt Davis opina que tard o d'hora arribarà el dia on arreu hi haurà limitacions de velocitat, agradi o no als conductors [P091].

La creació de fórmules econòmiques -i no tant- de competició permetria desfogar i exhibir aquells que volguessin córrer en circuits adaptats a tal fi, que garantirien la seguretat de tothom qui circuli dins de la via pública. Hi ha un elevat mercat potencial de corredors, però l'escassetat i exclusivitat de pistes n'evita l'entrada. Probablement, el món del karting en lloguer sigui un interessant punt on començar.

Pels usuaris domèstics de VE, s'haurà de promoure respecte un vehicle convencional:

- Les grans reduccions de soroll i vibració (menor pes en aïllants)
- L'elasticitat del motor elèctric (parell elevat durant un ampli règim de gir)
- Reducció del consum, en minimitzar els temps de treball en fred dels MT (un MT gros presenta grans inèrcies tèrmiques i complexitat en la lubricació)
- Avantatges fiscals per part de les autoritats competents [P087], manca una política clara [P088][P089]

Òbviament, a mesura que s'incrementi la pressió fiscal als grans consumidors d'energia, es produiran clares segmentacions de mercat en les preferències dels usuaris, segons el seu tipus d'utilització del vehicle i no tant segons la forma o cilindrada com actualment passa:

- Urbà (ciutat 5km/dia - extraradi 30-60 km/dia, conductor sol)[P093]
- Mitja distància (vehicle familiar)
- Llarga distància, segons el Dr. Hans Rathgeber [P044]
- Fora carretera (tractors, tots terrenys, vehicles especials)
- Luxe (vehicles farcits de gadgets, supersport, limusina, preus superiors a 1M€)
- Esport (vehicles per a una pràctica de competició en ral·li o circuit, pujada en costa: 3 minuts-20C)

Igualment, es produirà una segmentació i expansió a mesura que s'incrementin els preus i taxes al consum d'energia segons la càrrega:

- Únic conductor
- Biplaça ocasional



- Familiar 3-5-7 places
- Luxe
- Negoci comercial (vehicle d'imatge pública, on l'empresa s'identifica amb el tipus de vehicle)
- Càrrega comercial (requisits específics de la càrrega: refrigerada, pesant, bruta, líquida, paletitzada, eines/contenidors, persones, etc.)

En el cas de consolidar-se els vehicles de base oberta (*The Open Car - OSCAR*), s'optaria a una tipologia molt estricta de vehicles per a una durada de vida:

- Materials simples, que permetin una reparació simple a qualsevol lloc del món
- Aerodinàmica [P009], modularitat i ergonomia dels components interiors, per adaptar a qualsevol situació el vehicle
- Seients confortables, però que no provoquin somnolència
- Espai on emmagatzemar i carregar objectes personals, claus, motxilles, GPS, telèfon, aigua, etc. (si cal, externament)
- Acabats resistents a la intempèrie i reciclables, parafangs inclosos
- Mantenibilitat: que per una inspecció rutinària no calgui desmuntar tot el vehicle
- Accessibilitat: vehicle adaptable a múltiples necessitats
- Seguretat: que el vehicle sigui estanc i sigui difícil d'obrir per accessos no autoritzats

### **7.7.1 Pes generador**

Els vehicles híbrids compten amb un llast important que suposa el dipòsit de benzina (1kg/10km), el motor i la transmissió (2kg/kW) i el generador (2kg/kW).

A nivell pràctic, parlant de vehicle híbrid, resulta pràctic plantejar motoritzacions a partir de 15kW, amb generadors de fins a 20kW en roda lliure. A nivell de referència, suposaria una massa inicial de 70kg en un vehicle de referència. El vehicle "OSCAR eo" participant al Dakar 2012 disposa d'un motor Nissan V6 acoblat a un generador de 150kW. Ha estat el primer a completar la prova bo i tenir una massa superior a les 2 tones.

La tendència clara és a reduir la mida del bloc tèrmic, i les restriccions venen donades per la capacitat de cremar bé la mescla a l'interior del cilindre [P069] i per l'entreferro dels motors elèctrics.

### **7.7.2 Pes bateries**

A més del que s'ha esmentat a l'apartat anterior, als vehicles híbrids els cal afegir les bateries (1,5kg/km) i el motor amb el controlador (1kg/kW).

Veiem per tant, que cada kW instal·lat suposa 5kg en màquines rotatives i per cada km addicional d'autonomia hem d'afegir 0,1kg de combustible o 1,5kg de bateries.

En aquest cas, l'elecció del vehicle "OSCAR eo" ha estat per 53kWh de bateries (230VDC, 100Ah) i un motor de 400Nm/4000rpm.

La tendència en aquest camp és cap a una millora de la seguretat, abans que una millora en prestacions. Per ara les químiques alternatives no es mostren estables en el temps, en la temperatura ni en la tensió i per tant caldran 10 anys per a poder tenir un altre *salt de gegant* com s'ha tingut després de l'any 2000.

### 7.7.3 Lleis de semblança: una metodologia d'assaig

Per tal de poder realitzar experiments de mobilitat, s'ha hagut de cercar una plataforma on poder fer i presenciar els assajos a nivell internacional. En col·laboració amb la FIM (Fédération Internationale de Motocyclisme) sorgeix la possibilitat de regular un campionat internacional de motocicletes elèctriques, plataforma essencial i expressió mínima dels vehicles actuals. S'ha elaborat un document que conforma aquest apartat i que s'ha presentat a la Conferència Europea de Vehicles Elèctrics (Brussel·les, 2011).

#### Introducció

El creixent interès per a la hibridació i millora de l'eficiència elèctrica al vehicle actual, ha fet que hagi estat conduït a dins de la FIM un anàlisi, abans d'iniciar un nou campionat.

Per tal d'oferir un nivell d'espectacularitat adient, s'estudia les possibilitats que hi ha en relació a la velocitat màxima ( $v_{max}$ ) i l'acceleració ( $a_{max}$ ) que poden ser modelades a grans trets com a funcions (1) (2) de la potència (kW), resistència aerodinàmica (CdA) i massa (m).

$$v_{max} = f(CdA(m), kW(m)) \quad (1)$$

$$a_{max} = f(m(CdA), m(kW)) \quad (2)$$

Cal notar que tots tres factors (CdA, m, kW) són fortament correlacionats i poden ser trobades fàcilment funcions tipus (3).

$$f(m, CdA, kW) = 0 \quad (3)$$

El cost (€) i el consum energètic específic (Wh/km) al NEDC (New European Driving Cycle) també estan fortament influenciats per la massa (4)(5).

$$\text{€} = f(m) \quad (4)$$

$$Wh / km = f(m) \quad (5)$$

Aleshores, la massa esdevé el paràmetre més rellevant de cara al disseny d'un vehicle. La complexitat sovint interfereix de tal manera, que s'acaben creant "problemes" de massa. Una prova és que la massa de la flota mitjana de vehicles ha crescut contínuament als US i a Europa, bo i quan hi ha la voluntat manifesta de fer-los més lleugers.

US	kg
1985	1370
2007	1630

Taula 7-1: Massa mitjana de la flota de vehicles US

EU	kg
1995	1100
2006	1300

Taula 7-2: Evolució de la massa mitjana dels vehicles a Europa

D'acord amb això, la massa creix anualment un 0,9% als US i un 1,65% in Europe. Algunes fonts [128] diuen que s'estalvien fins a 0,5 litres de combustible per cada 100kg de massa eliminats.

### Hipòtesi

Els vehicles actuals tenen uns nivells de prestacions que poden ser replicats amb sistemes de tracció elèctrica. L'acceleració objectiu és 1G (0-100km/h en 3 segons). La velocitat punta superior als 200km/h.

### Limitacions

Els factors d'escala no troben aplicació per a termodinàmica, fabricació i/o complexes hidro/aerodinàmica, però ofereix uns resultats més que satisfactoris als càlculs preliminars. Un detallat estudi amb paràmetres adimensionals, podria solucionar aquests inconvenients, malgrat afegir complexitat al model.

El coeficient de penetració (Cd) d'una motocicleta lleugera és tres vegades superior al d'un vehicle de la categoria M1, malgrat que la superfície frontal exposada (A) és la meitat.

La complexitat és un dels límits de l'empaquetament als vehicles lleugers. Un sistema de propulsió híbrid afegeix, a més una massa significativa als vehicles petits.

### Població

Per tal d'esbossar la hipòtesi, s'han utilitzat eines estadístiques, i la literatura [129] trobada ha conduït anàlisis similars amb conclusions semblants, ajustant-se al model creat (*peer reviewing*). Fusionar les bases de dades, amb altres grups, engrandiria la base de població per a l'estudi estadístic dels propers anys.

### Prestacions

La majoria d'anàlisis realitzats en vehicles elèctrics s'han portat a terme en vehicles de mida real [P095], tant per simplificar la producció com les mesures, i la majoria no estan assolint ni de bon tros les prestacions desitjades.

Les causes principals d'aquesta discordança es troben principalment als pobres anàlisis de requeriments i dels problemes de complexitat que disparen els costos. Altres causes de problemes venen de la creació d'expectatives superiors a la mitjana, la impossibilitat de prototipatge a escala i/o l'abús de CAD/CAE, que permet qualsevol fantasia 3D a l'ordinador.

### Model

Un model paramètric simula el cicle NEDC (patró de referència, *New European Driving Cycle*) construït des de zero en format electrònic. Qualsevol circuit o pista pot ser modelat amb la mateixa eina informàtica.

Partint d'aquest punt, un primer assaig heurístic mostra que, per sota de 50km/h, la resistència de rodadura i el venciment d'inèrcies requerits són molt superiors a la càrrega aerodinàmica, demostrant clarament que un vehicle lleuger és fonamental per als 4 primers trossos, la part urbana del NEDC.

En el cas de motocicletes, l'energia específica requerida durant la primera part del cicle es troba entre 40 i 60Wh/km.

A la segona part del NEDC es sol·liciten velocitats més elevades, i l'energia mitja consumida passa de 66 a 88Wh/km, emprant la majoria d'energia per vèncer la fricció aerodinàmica.

Les motocicletes *tipus* presenten sobre el total del cicle NEDC un consum entre 56 i 74Wh/km.

En termes de combustible fòssil, 1Litre de Super 98 equival aproximadament a 10kWh, però els MT amb prou feines assolixen el 30% d'eficiència, resultant en poc més de 3kWh al cigonyal funcionant a plena càrrega al punt òptim.

### Optimització del ritme

Per optimitzar el funcionament d'un vehicle en termes de velocitat i consum, queda clar que quan més lent és el moviment, menors són els requeriments energètics degut a que la resistència de rodadura és constant i les pèrdues aerodinàmiques s'incrementen amb la velocitat.

Malgrat tot, hi ha una velocitat on la funció energia específica i velocitat tenen un punt mínim global.

$$\min \left[ \frac{E}{v} \right] \Rightarrow \frac{\partial}{\partial v} \left( \frac{mgR_r + \frac{1}{2} \rho C_d A v^2}{v} \right) = 0 \quad (6)$$

Resolent per v:

$$v_{opt} = \sqrt{\frac{2mgR_r}{\rho C_d A}} \quad (7)$$

I segons el pendent:

$$v_{opt} = \sqrt{\frac{2(mgR_r + mg \sin \alpha)}{\rho C_d A}} \quad (8)$$

Que és la velocitat en la que podem assolir el consum òptim respecte el temps emprat en el desplaçament. Aquesta conclusió resulta de vital importància en vehicles híbrids, ja que acaba determinant el temps que funcionarà el motor tèrmic i que, per tant tindrem pèrdues tèrmiques. Experimentalment hi ha altres treballs que mostren resultats similars [P050], bo i que mai s'ha plantejat des d'un punt de vista matemàtic i físic.

### Observacions

Els factors principals que acaben portant el vehicle a una velocitat òptima de funcionament elevada són una gran massa i/o una resistència de rodadura elevada.

D'altra banda trobem que els factors que afecten a una velocitat òptima lenta són una elevada ràtio CdA i una densitat de l'aire elevada.

### Restriccions químiques

El concepte d'escala no pot ser aplicat a reaccions químiques. La cinètica química ve donada per paràmetres físics que no podem modificar fàcilment.

Per tant, si l'energia a bord és una funció de la massa, veiem que aquesta magnitud anirà directament relacionada amb el cub de l'escala de longituds.

Empíricament es troba que el consum Wh/km es troba acotat per

$$\tilde{L}^3 \leq \tilde{M} \leq \tilde{L}^2 \quad (9)$$

Partint de l'energia consumida per distancia recorreguda (consum específic) trobem:

$$\frac{Wh}{km} \Rightarrow \tilde{M}\tilde{L}^2\tilde{T}^{-2}\tilde{L}^{-1} = \tilde{M}\tilde{L}\sqrt{\tilde{L}^{-2}} = \tilde{M} \quad (10)$$

A partir d'on podem trobar la velocitat òptima de funcionament del vehicle escalat.

### Escala

Els models a escala representen l'avantatge més gran que ofereixen els vehicles elèctrics, respecte els seus parents amb ICE, ja que la seva tecnologia permet reduir i escalar mantenint rendiments, no com la termodinàmica ni la dinàmica de gasos.

### Anàlisi dimensional d'escala

Quan es munten maquetes a escala, no tots els paràmetres resulten afectats de la mateixa manera. Fins i tot quan fem una escala només de longituds, aquesta té influència cap a la resta de paràmetres.

A partir de les equacions i magnituds elementals, pot ser construïda una matriu com a producte d'exponents.

Magnitud	M (kg)	L (m)	T (s)
a		1	-2
F	1	1	-2
ρ	1	-3	
σ	1	-1	-2

Taula 7-3: Matriu de relacions dimensionals entre magnituds

Com es pot veure, a la taula tenim més files que columnes, pel que les magnituds es veuran

afectades per l'elecció que fem (1 grau de llibertat).

Considerant X com la magnitud original, X' la magnitud a escala,  $\tilde{X}$  serà el denominat factor d'escala.

$$\frac{X}{X'} = \tilde{X} \quad (11)$$

Si prenem a tall d'exemple una maqueta a escala 1/10 tal que:

$$\frac{L}{L'} = \tilde{L} = 10 \quad (12)$$

I comprovant que empíricament assoleix els 0-100km/h en 3 segons, l'acceleració segons les hipòtesis ha de ser mantinguda constant. Aleshores:

$$\tilde{a} = 1 = \frac{\tilde{L}}{\tilde{T}^2} \Rightarrow \tilde{T} = \sqrt{10} \quad (13)$$

D'on veiem que queda un paràmetre més a definir per trobar el factor d'escala de massa.

### 7.7.3.1.1 Cas 1

Assumint la utilització dels mateixos materials, amb la mateixa densitat:

$$\tilde{\rho} = 1 = \frac{\tilde{M}}{\tilde{L}^3} \Rightarrow \tilde{M} = 1.000 \quad (14)$$

I conseqüentment afectant la rigidesa dels materials per un factor de:

$$\tilde{\sigma} = \frac{\tilde{M}}{\tilde{L}\tilde{T}^2} = \frac{1.000}{10 * \sqrt{10}^2} = 10 \quad (15)$$

El que significa que si la massa és encara un dels factors més influents, el cost de materials del vehicle a escala 1:2 serà 1.000 vegades el cost del model a escala.

### 7.7.3.1.2 Cas 2

Suposant la utilització de materials lleugers amb la mateixa rigidesa:

$$\tilde{\sigma} = 1 = \frac{\tilde{M}}{\tilde{L}\tilde{T}^2} \Rightarrow \tilde{M} = 100 \quad (16)$$

Que és una troballa interessant, ja que la massa només creix 100 vegades respecte el model a escala, però la densitat:

$$\tilde{\rho} = \frac{\tilde{M}}{\tilde{L}^3} = \frac{100}{1.000} = \frac{1}{10} \quad (17)$$

Per tant caldria emprar materials 10 vegades més lleugers al vehicle 1:1.

### Prestacions reals

Aplicant els factors d'escala, empíricament es troba:

Magnitud	Escala	Model	Real
Longitud	10	0,39	3,9
Acceleració	1	9	9
Velocitat	3,16	23	72
Alçada	10	0,14	1,4
Amplada	10	0,18	1,8

Taula 7-4: Relació entre magnituds i escales

Arribat aquest punt, pot ser definida l'escala de massa.

#### 7.7.3.1.3 Cas 1

Forçant l'escala de densitats a 1:

Magnitud	Escala	Model	Real
Densitat	1	8	8
Esforç	10	200	2.000
Massa	1.000	1,87	1870
Cost	1.000	350	350.000

Taula 7-5: Taula d'escales assumint densitat constant (mateixos materials)

Que clarament demostra que una massa elevada es transforma en uns costos elevats, fent vehicles que no es pot permetre la majoria de la població.

#### 7.7.3.1.4 Cas 2

Forçant l'escala d'esforços a 1:

Magnitud	Escala	Model	Real
Densitat	0,1	8	0,8

Esforç	1	200	200
Massa	100	1,87	187
Cost	100	350	35.000

Taula 7-6: Taula d'escales assumint esforços constants (materials lleugers)

Que mostra un vehicle amb un cost contingut, malgrat que han de ser utilitzats nous materials i formes per tal de mantenir els nivells d'esforç sota d'uns límits acceptables, bo i tenir una densitat 10 vegades menor.

### Límits de consum

Empíricament es troba que el consum Wh/km es troba acotat per a un vehicle turisme de 1500kg entre els 150 i 250Wh/km, i passat als vehicles a escala:

$$\tilde{L}^3 \leq \tilde{M} \leq \tilde{L}^2 \quad (18)$$

Partint de l'energia consumida per distancia recorreguda (consum específic) trobem:

$$\frac{Wh}{km} \Rightarrow \tilde{M} \tilde{L}^2 \tilde{T}^{-2} \tilde{L}^{-1} = \tilde{M} \tilde{L} \sqrt{\tilde{L}^{-2}} = \tilde{M} \quad (19)$$

D'on veiem que pel cas 1 i pel cas 2:

$$\tilde{L}^2 \leq \tilde{M} \leq \tilde{L}^3 \quad (20)$$

Que ens acaba donant un terme aproximat comú proper a l'escala de longituds al quadrat. Cal tenir en compte que forçar l'escala d'acceleracions a 1 és una bestiesa, ja que resulta uncomfortable a nivell dinàmic i obliga a un tarat de suspensions i dimensionat de pneumàtics molt diferent del requerit en trams urbans. Treballar en prototips a escala és un dels òptims a nivell econòmic.

### Acords internacionals

La FIM té el rol de promocionar el motociclisme com a mitjà de transport, lleure i esport, a més de fer-ho de forma sostenible, per un futur millor en termes mediambientals i evolutius.



Figura 7-8: Logotip de la FIM i de les series FIM e-Power

Basat en aquesta recerca, el campionat internacional de curses en circuit tancat FIM e-Power, ofereix als fabricants interessats l'oportunitat d'assajar els productes i tecnologies, en les condicions més extremes a un cost molt inferior al que suposaria la construcció d'un cotxe sencer.



La proposta és que una motocicleta limitada per massa (<250kg), no pot ser gran ( $A < 0,7m^2$ ) i l'eficiència del tren de rodadura (0,85) permet un bon balanç distància-velocitat per tal de disputar curses.

La distància objectiu a cobrir és entre 35 i 40km, excloent la volta final de retorn cap al podi. Aquests 40km a ritme de cursa (220km/h, 140km/h de mitjana) oferirien fins a 150km a ritmes normals de conducció mixta a velocitats superiors a la legal. El consum estimat en cursa és d'uns 200Wh/km, però poca gent ha de menester diàriament unes prestacions tant elevades. Aquestes màquines estan establint el que serà el futur del transport elèctric i híbrid.

### Següents passos

Molta és la feina feta fins ara i encara queda molt per córrer. Els principals objectius a batre per ara són la millora del CdA i la reducció de massa dels vehicles actuals per tal de millorar l'eficiència, abans de pensar en incrementar la quantitat d'energia a bord que serà malbaratada. El consum de combustible té una relació directa amb:

$$fc = f(PCI, \eta_{motor}, R_{untime}, \eta_{trans}, km, m) \quad (21)$$

Igualment per ara, tampoc hi ha hagut cap esforç substancial per incrementar la densitat específica del combustible (poder calorífic específic, PCI). L'autonomia d'un vehicle també es pot representar per:

$$autonomia = f(PCI, \eta_{motor}, R_{untime}, \eta_{trans}, v, m) \quad (22)$$

Veiem que l'autonomia és també afectada pel PCI. Un estudi adimensional de vehicles i la seva cinètica pot permetre un millor ajust teòric abans de la seva construcció final. Un detallat estudi dels materials i costos associats previ a la construcció d'un prototip de pre producció és més recomanable que un concepte on els materials exòtics compensen els dèficits de densitat i esforç requerits.

#### 7.7.4 Cicles definits: NEDC

Per tal de poder dur a terme comparatives entre models d'eficiència, es pren com a referència el cicle NEDC (New European Driving Cycle), consistent en 4 voltes urbanes i un tram interurbà, en circuit pla, considerats com a ponderats en el model de ruta.

Els vehicles escollits per a ser simulats són:

- Un prototip de la Shell Eco Marathon
- Un prototip realitzable a Catalunya 1L/100km, híbrid sèrie
- Un vehicle de competició elèctric (FIA Formulec)
- Un Toyota Prius 1.5VVT (vehicle de control i validació)
- Una moto elèctrica carenada (esportiva)

A continuació es presenten els resultats de consum acumulat de cada vehicle al llarg del seu cicle NEDC. En tots s'ha pres mesura de la capacitat de regeneració d'energia a la frenada al llarg dels 11km de la prova (simulació).

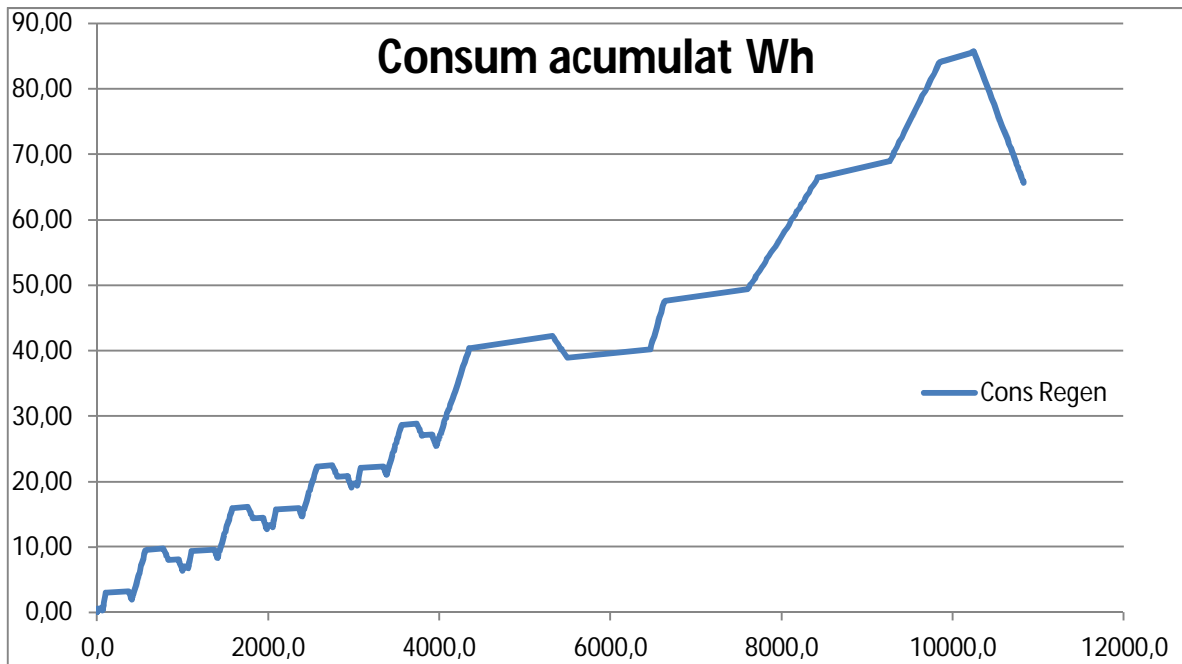


Figura 7-9: Simulació de consum NEDC d'un vehicle de la Shell eco-Marathon

Es pot distingir clarament l'efecte de la –bo i reduïda- massa en el consum, ja que (hipotèticament assumint els 120km/h) es disparen els valors en les acceleracions. Noti's també el poc pendent dels trams a velocitat constant, mercès a l'aerodinàmica im-pol- luta d'aquests vehicles.

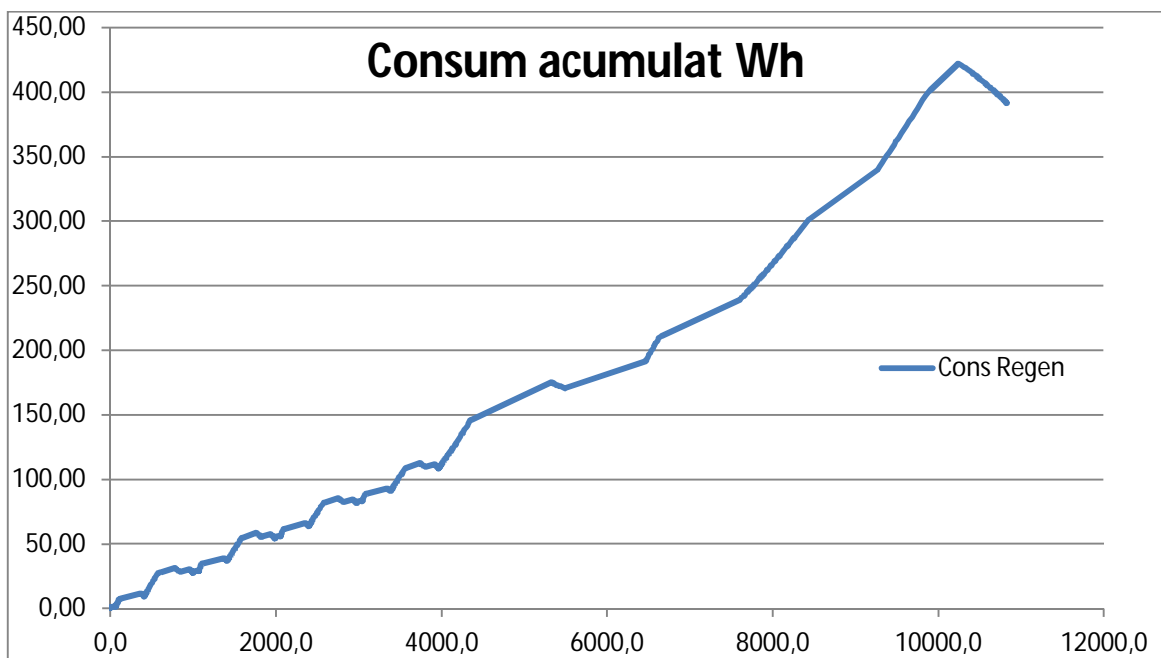


Figura 7-10: Simulació de consum NEDC d'un prototip consumint 1L/100km

En aquest prototip, la massa ja no és de 40kg, sinó de 400kg, i malgrat tenir una bona aerodinàmica, la corba de consum es veu suavitzada per l'efecte creixent del frec aerodinàmic.

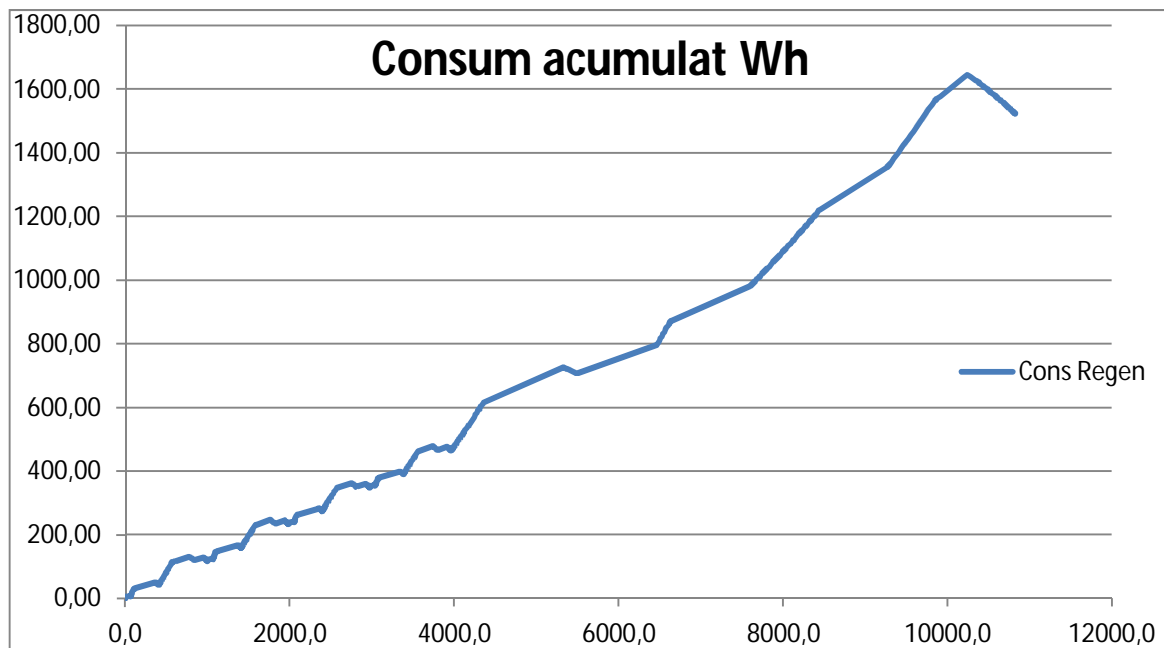


Figura 7-11: Simulació de consum NEDC d'un vehicle de competició elèctric pur

Per les nefastes aerodinàmiques dels vehicles de competició (que busquen adherència per sobre de qualsevol altre paràmetre), el vehicle de competició proposat presenta un consum molt més elevat que qualsevol altre, bo i consumir directament l'energia d'una font electroquímica com són les bateries. En ser relativament lleuger, es marquen les arestes de consum durant les fases de manteniment de velocitat.

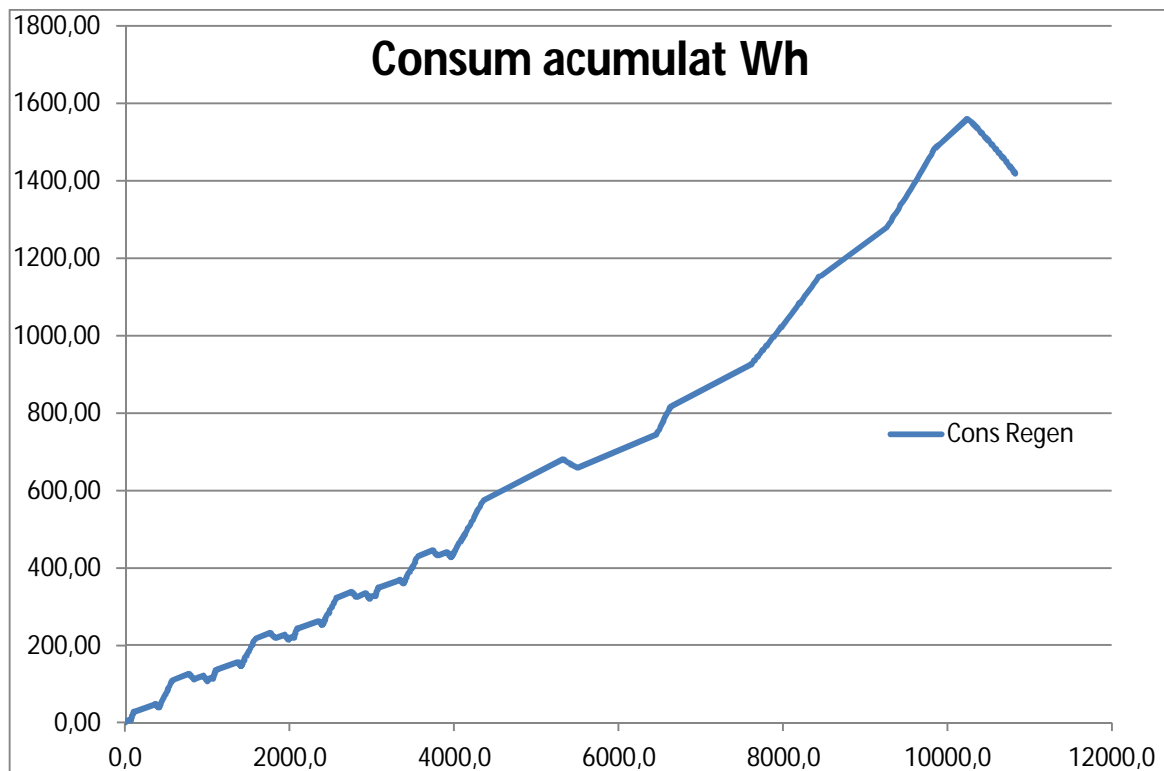


Figura 7-12: Simulació de consum NEDC d'un Toyota Prius Gen2 de l'any 2007

Aquest vehicle presenta una bateria de poc més d'1kWh i un motor de combustió interna de

1,5L de cicle Atkinson (expansió més llarga que el cicle Otto), pel que aconsegueix un rendiment lleugerament superior als motors de benzina convencionals, aproximadament un 5% millor. Per contra, aquest cicle limita el règim de gir a 4.500rpm, pel que la seva potència específica es manté per sota dels Otto. En aquest cas, es verifica un consum de 4,2L/100km, que és exactament el consum real en cicle NEDC. En assajos d'estiu, sense aire condicionat i en condicions òptimes s'ha arribat a assolir un consum de 45L en 1200km de trajecte. A l'hivern, amb la calefacció al màxim (30°C) s'ha arribat a 4,9L/100km i en autopista pura (durant 500km a 120km/h constants) a règims propers als 5,3L/100km.

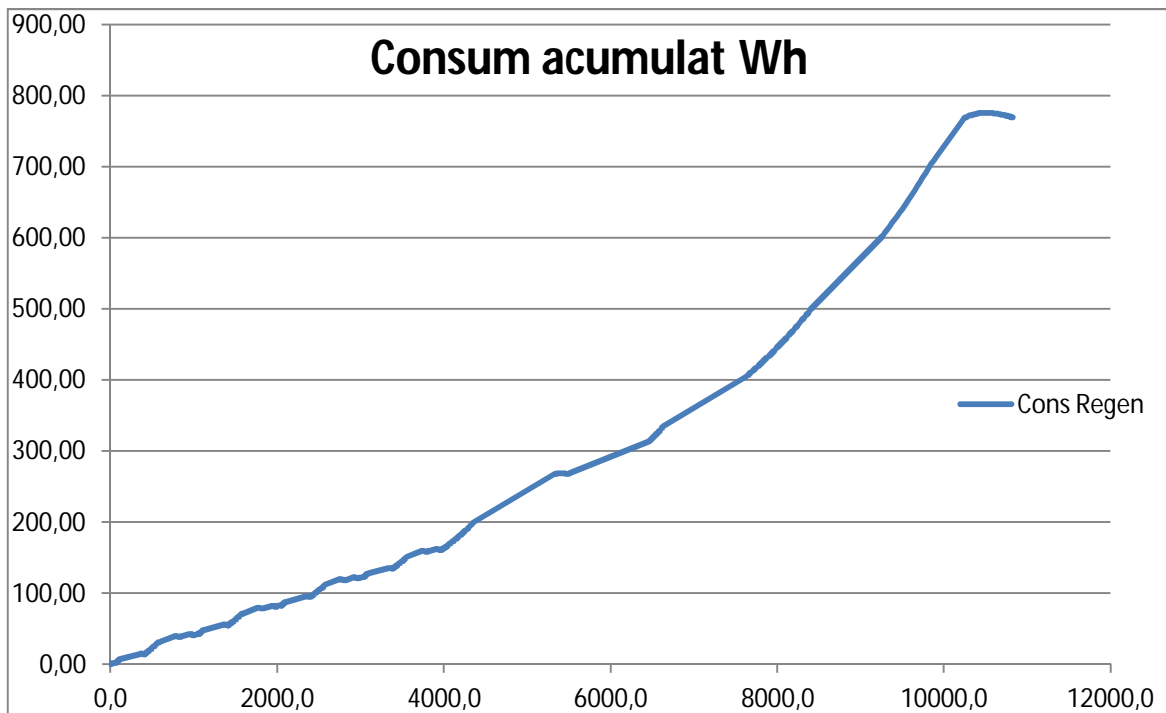


Figura 7-13: Simulació de consum NEDC d'una motocicleta carenada actual, elèctrica 100%

En aquest darrer cas, es torna a apreciar que l'efecte aerodinàmic pesa molt més que qualsevol altre. El fet de tenir un pilot en posició erecta, amb ple d'arestes i irregularitats (cúpula, casc, gepa, cua) i un perfil aerodinàmic poc suavitzat en dispara el consum, fins i tot en les etapes de manteniment de velocitat de creuer. Seria remarcable el seu comportament en el tram urbà, on les velocitats són moderades i les acceleracions de poca velocitat. Cal considerar però, que en els 2km primers consumeix tant com el vehicle optimitzat de la Shell Eco Marathon en completar tot el cicle.

### 7.7.5 Complexitat

Finalment queda per analitzar en l'apartat de perspectives la complexitat. La tendència creixent és disposar d'un bus de comunicacions normalitzat (CAN) i anar-hi penjant centraletes de cada subsistema.

Això, juntament amb l'actual tendència a l'electrificació i la cada cop més present electrònica de potència, porta a disposar en la majoria de vehicles de gamma mitja entre 20 i 30 centraletes. En vehicles de gamma alta (BMW sèrie 7, Mercedes classe S) es poden comptar més de 50 centraletes [P011][P021] per a control (temperatura, climatització, frenada, tracció, injecció, catalitzador) i infotainment (vídeo, multimèdia, comunicacions).

Aquesta explosió d'electrònica provoca que hi hagi una necessitat creixent de coordinació i

sincronització de les centraletes per a actuar de forma unificada i coordinada, sobretot per no col·lidir a l'hora d'intervenir els sistemes crítics (airbags, repartidors de frenada, pretensors, desconectadors).

En un vehicle elèctric s'haurà d'emprar un sistema de prioritats ja sigui basat en la desconexió de càrregues o en la de funcionalitats per tal de prioritzar els sistemes de manera automàtica.

En una nau espacial es disposa d'un sistema de votació per majoria de 2 (3 centraletes principals redundants) que s'encarreguen de gestionar per ordre de prioritats:

1. Subsistemes de telemetria d'emergència (banda S)
2. Subsistemes de guiatge i control orbital
3. Subsistemes d'orientació i actitud
4. Subsistemes de monitorització, re connexió i mesura (mínims)
5. Subsistemes funcionals (o càrregues útils d'observació, comunicació, etc)

Pel cas de vehicle amb desconexions programables s'ha d'afegir al sistema la capacitat de reiniciar de forma transparent al conductor, de manera seqüencial i automàtica amb registre d'alertes.

## 7.8 Optimització del vehicle (i la seva conducció)

---

En aquest apartat plenament experimental es dibuixen les conclusions que s'han extret a partir dels consells de conducció híbrida del mestre Jordi Roig, propietari d'un Toyota Prius Gen2 Rev2 (2008) i evolucionats amb el vehicle de referència Toyota Prius Gen2 Rev1 (2007) i que ajuden a optimitzar el consum del vehicle.

En la segona meitat es desenvolupa un estudi d'un vehicle híbrid derivat del primer cas.

1. Procura no passar de 15L/100 en consum instantani quan acceleris

Això correspon a fer treballar a una potència de 55kW el motor de combustió interna.

2. No abusis de mode elèctric pur. Ho acabaràs pagant en benzina

El Toyota Prius 2007 no és endollable i, per tant carrega les bateries aprofitant l'excedent energètic, tal i com s'esmenta a 7.6 o regenerant l'energia de la frenada.

3. Fes servir el Control Cruise sempre que no coneguis la carretera

El sistema de control de velocitat s'estabilitza en un rang +/- 5%, evitant acceleracions brusques.

4. Engega el motor i deixa'l escalfar per treballar millor

Mentre el motor s'escalfa, se sol carregar la bateria lleugerament.

5. Si no arribes a 7,5L/100km als primers 5 minuts vol dir que en vas aprenent

Assolir un consum mig reduït en les arrencades en fred és una evidència de conducció eficient.

6. Regenera amb frenades suaus. Per sota de 30km/h no regeneraràs mai.

Igual com en la generació fotovoltaica (a l'espai) o eòlica (terrestre), no es poden aconseguir bons rendiments si l'energia primera no és de la qualitat suficient (entropia). En aquest cas, l'energia cinètica és escassa (16 vegades inferior que a 120km/h) i la velocitat de pas dels imants permanents no permet una tensió elevada com per carregar bateries.

A més, les bateries suporten molt malament les càrregues ràpides i els suposa degradacions i envelliment accelerats per qüestions termoquímiques.

7. Les velocitats límit del Gen2 són 50 i 70 km/h

Aquesta restricció ve donada constructivament de fàbrica. A la segona generació del vehicle no es permet funcionar per sobre de 50km/h en mode elèctric forçat ni per sobre de 70km/h sense engegar el motor de combustió interna.

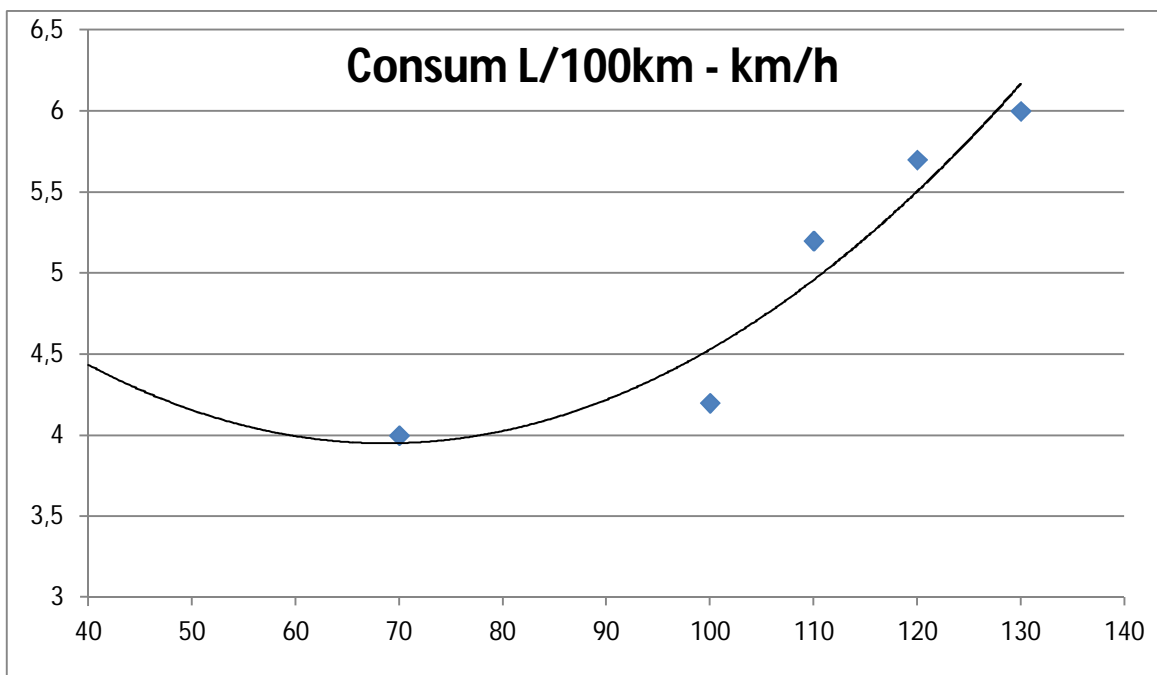


Figura 7-14: Experiment a velocitat constant del Prius Gen2 2007 (500km+ per punt)

Aquestes dues velocitats corresponen als punts més baixos de la corba consum-velocitat. Malgrat que la massa ha anat creixent (Gen1 1240kg, Gen2 1350kg, Gen3 1420kg) , les millores aerodinàmiques han permès incrementar aquestes velocitats. Aquest punt enllaça amb les velocitats òptimes que s'han tractat anteriorment.

8. Fes Push & Glide sempre que puguis, sent fi amb el pedal de gas

El terme *Push & Glide* ve a definir un estil de conducció on l'acceleració constant entra en graó i es deixa d'accelerar un cop assolida la velocitat objectiu.

9. Fer bons consums al principi del dipòsit millora la moral per assolir els 1100km

Una conducció agressiva de bon començament penalitza seriosament els consums a nivell d'objectius a mig terme. L'optimització no només depèn del vehicle, sinó també del conductor.

10. Porta sempre la bateria entre verd i les dues barretes blaves

Això recorda el punt 2. La bateria ha d'estar sempre el més a prop possible de la tensió nominal (veure imatge al peu). L'espai buit superior indica "sobrecàrrega" un estat on no interessa emmagatzemar les bateries i es marca en color verd. Les darreres dues barres de baix es marquen en color violaci per indicar descàrrega profunda.



Figura 7-15: Panell de monitorització del Prius

11. Accelera fins que la fletxa apunti a les bateries, pujant d'1 en 1 al velocímetre

Pel disseny del panell d'informació es poden veure els fluxos d'energia al vehicle i els consums mitjos i instantanis. Accelerar suaument (en increments de 1km/h) i procurar mantenir la bateria en estat òptim són prioritats absolutes.

12. Puja pels pendents més directes i baixa de la manera més suau possible

Els *camins de carro* (plans o pujades suaus, seguits de curtes pujades brusques) permeten assolir dues fites: mantenir el motor de combustió engegat el mínim temps possible i assegurar una regeneració suau i continguda.

13. Quan arribis en pujades suaus, vés a 84km/h

Aquest punt de funcionament iguala la força aerodinàmica amb el pendent i la rodadura, sent per tant un punt òptim amb pendents del 2 al 3%. Tal i com s'ha vist anteriorment la velocitat òptima ve donada per la relació entre forces fixes (rodadura i pendent), respecte les forces variables (aerodinàmica).

14. Anticipa qualsevol semàfor o embús sense accelerar

La previsió, a més d'evitar accidents, ajuda a reduir dràsticament els consums, ja que evita l'encesa del motor de combustió innecessària.

En tot cas, amb diferents hipòtesis de funcionament i seguint el cicle Euro, s'ha simulat una versió compacta del mateix concepte propulsor, amb 450kg menys de massa. En aquest cas es passa d'una potència màxima de 45kW i un parell a roda de 500Nm a 34kW i 400Nm respectivament. Toyota comercialitzarà aquesta arquitectura sota el nom de *Yaris híbrid* i serà muntat a França durant el 2012. Se'n preveu un consum de 3L/100km i una demanda de 700.000 unitats a l'any per Europa.

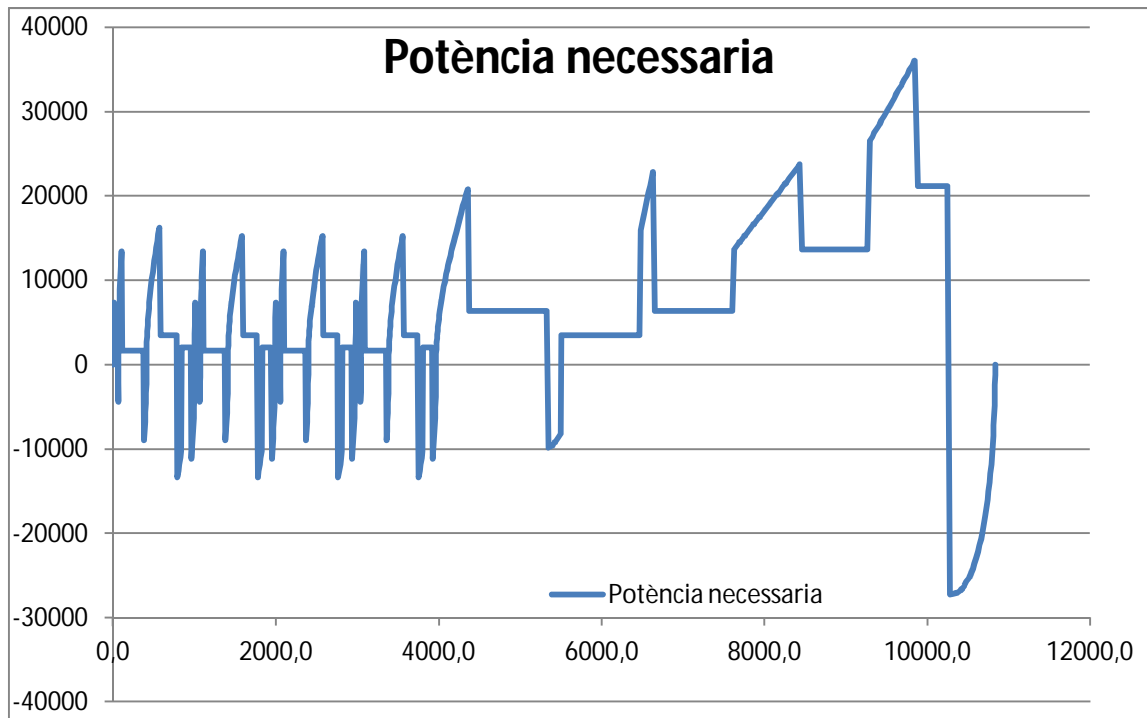


Figura 7-16: Potència obtinguda en la simulació d'un vehicle híbrid de 1000kg

A la Figura 7-16: Potència obtinguda en la simulació d'un vehicle híbrid de 1000kg es pot apreciar que la potència necessària té una forta component d'infrutilització en trams urbans mentre que s'usa de forma intensiva en el tram interurbà. Això dóna lloc a pensar quin tipus de propulsió és més apropiat en cada cas.

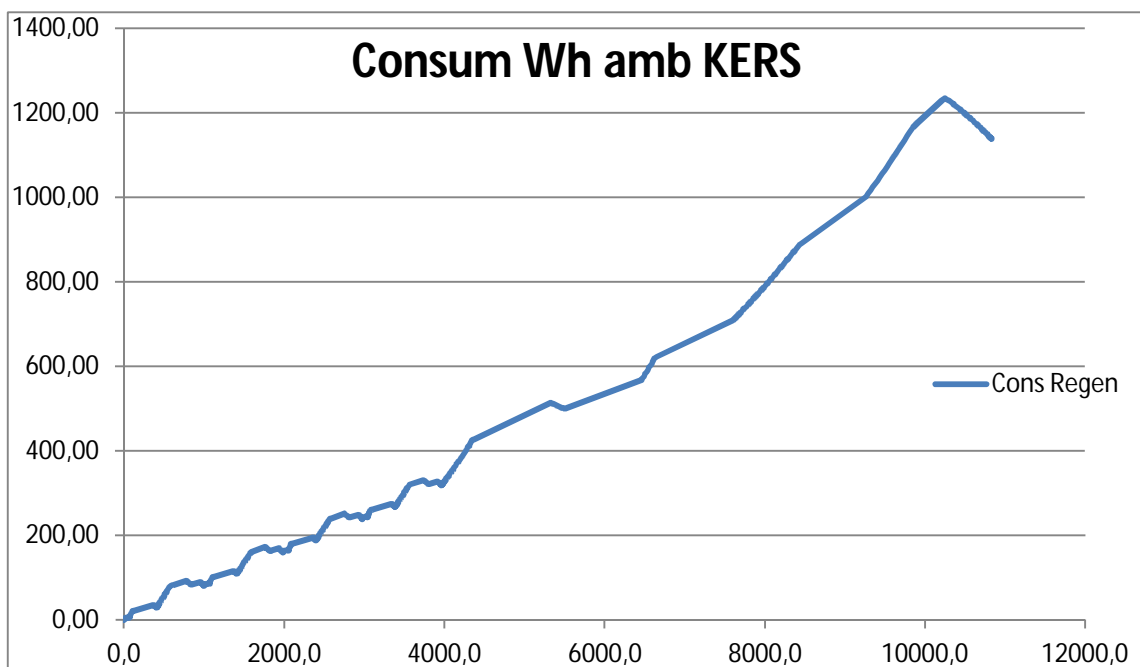


Figura 7-17: Consum obtingut en la simulació d'un vehicle híbrid de 1000kg

S'està perseguint a nivell oficial un vehicle de massa més continguda, malgrat que la majoria d'esforços industrials (SEAT, Ford, Opel) es destinen al desenvolupament de vehicles convencionals, on la mateixa malaltissa metodologia acaba sempre augmentant la massa del producte final i al



capdavall, el client acaba pagant per la massa que compra, a un preu mínim 12€/kg mentre que el cost mínim es troba proper als 7€/kg. En afegir massa, la percepció de qualitat es dispara i l'usuari arriba a pagar fins a 40€/kg o més per kg addicional.

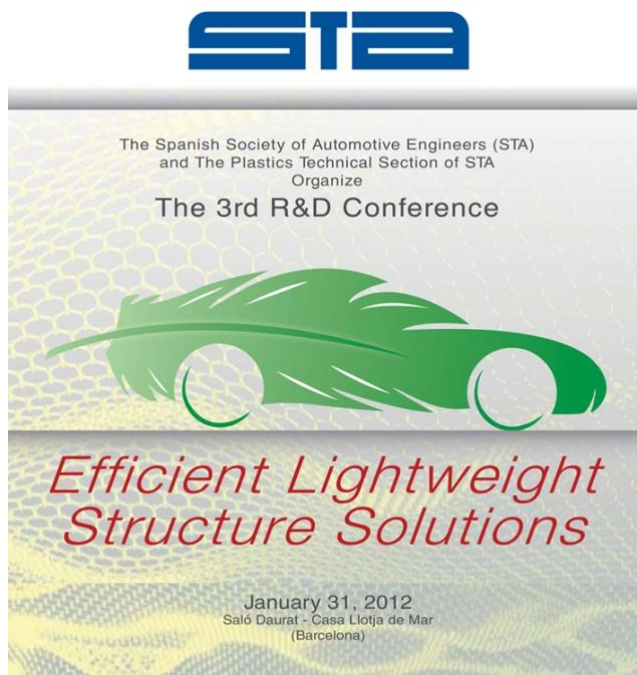


Figura 7-18: L'oferta de conferències del vehicle del futur s'ha disparat els darrers anys

Per ara, el negoci que millor ha funcionat amb el vehicle elèctric han estat les conferències d'optimització del vehicle, ja que de cotxes no en circula cap que no sigui de forma anecdòtica.

## 7.9 Noves tecnologies

---

Finalment cal contemplar les denominades *noves tecnologies*, les que porten més de 60 anys emergint i que per restriccions tècniques no acaben de sortir al mercat. A continuació es detallen algunes de les innovacions fetes en aquests camps.

### 7.9.1 Piles de Combustible

Les piles de combustible presenten com a únic avantatge que la reacció Redox es fa de forma controlada i a una entropia molt més baixa que en el cas de les explosions. Això permet un rendiment lleugerament superior en condicions nominals. El fet constructiu que el combustible i comburent siguin recarregables resulta molt interessant des d'un punt de vista de client captiu a les estacions de reavitallament. Tesis com les del Sr. Jesús Hernández [U08] mostren una motocicleta moguda per pila d'hidrogen plenament funcional moguda amb tecnologia del país.

Per contra, hi ha greus inconvenients en la regulació i control a càrrega parcial, ja que els rendiments cauen en picat fora del punt nominal, i que per a l'obtenció i refinament dels materials per a construir la cel·la cal invertir ingents quantitats de recursos, als que cal sumar la despesa energètica de l'hidrogen líquid [P083], *slush* o comprimit, o el reformador de gas natural o metanol.

### **7.9.2 Seebeck/Peltier: l'efecte termoelèctric**

L'efecte Peltier és emprat en els sistemes espacials per la seva robustesa, la manca de parts mòbils i sobretot per la seva reversibilitat (efecte Seebeck). Embarcat en una nau resulta pràctic perquè pot generar corrent a partir d'un salt tèrmic o pot generar un salt tèrmic quan consumeix corrent.

La mateixa tecnologia es porta utilitzant en missions de llarga durada o d'espai profund en piles de RTG (Generador Tèrmic per Radioisòtops), com ara les missions Apol·lo a la Lluna (sismògrafs) o les Pioneer 10, 11 i les Voyager 1 i 2.

Aquesta tecnologia novament emergent (nous mètodes constructius i nous aliatges) presenta una limitació tèrmica. Fins que el salt tèrmic no és suficientment elevat (100°C) no pot començar a generar un corrent acceptable, de l'ordre d'Ampers, amb tensions properes a 1VDC per element. Durant experiments al laboratori amb un termo a 80°C simulant reaprofitar l'energia del radiador, el rendiment elèctric ha estat molt pobre per l'elevada resistència interna (kOhm).

De cara a una utilització directa sobre els gasos d'escapament podria resultar una opció interessant la seva instal·lació, un cop passats els tractaments de gasos del col·lector, on gradients de 200°C son fàcilment assolibles. BMW (Bayerische Motoren Werke) en té un prototip de 200W desenvolupat per l'Agència Espacial Alemanya (DLR) [P042][P043].

Un cop fets els assajos de laboratori, s'ha apartat aquesta tecnologia de la tesi, ja que és una tecnologia de refinament energètic i s'ha preferit prioritzar les capacitats catalanes en la transferència de tecnologies aeroespacials i les capacitats industrials d'hibridació sèrie.

### **7.9.3 Superconductors**

En el camp dels superconductors, en altres tesis s'ha treballat i s'està treballant conjuntament amb el laboratori ICMAB del CSIC i coordinadament amb la Universitat de Badajoz en tesis paral·leles.

El concepte que pot derivar-se en els propers anys és (d'acord amb els plans de gasificació de l'Estat) un motor de GPL amb un alternador superconductor, que faria alhora d'alternador i de l'evaporador dels gasos d'entrada al motor.

Per tal de poder aprofitar aquesta tecnologia, una nova família de generadors s'ha començat a desenvolupar al taller, amb la tesi del Sr Victor Fuses, que planteja primerament un sistema d'adaptació d'impedàncies, amb l'aplicació de transformadors toroidals per a tal funció, tot i que a freqüències baixes (50Hz).

Per la complexitat de manipulació d'alts corrents, tot el control s'ha de fer des del secundari (tensió més elevada, corrent més baix) i cal entendre una nova concepció com a font de corrent. Per ara els materials més apropiats per a funcionar com a superconductors son les cintes de plata amb filaments de bismut, les de YBaCuO i a nivell d'hiperconductivitat el coure electrolític dopat. I tot es pot fabricar i té els desenvolupadors a Catalunya, amb membres propers o dins de l'equip del Dr. Bosch.

## 8 TRANSFERÈNCIA TECNOLÒGICA A CATALUNYA

Hem vist ja dos sistemes de funcionament particulars, un a l'espai treballant de forma autònoma amb assistència i supervisió remota associada i un altre treballant a la superfície terrestre amb ajut d'un operari actiu denominat conductor.

Per associació es pot veure que els dos sistemes comparteixen molts punts en comú on caldria notar que:

- La fiabilitat i redundància del sistema terrestre no cal que sigui tant elevada com a l'espai (es pot donar assistència ràpida en ruta)
- Els modes de fallada segura (buits de tensió) han d'estar previstos en el cas terrestre (una interrupció a nivell funcional pot derivar en seriosos accidents)
- Els costos han de ser tancats, fixos i baixos al sistema terrestre (a l'espai es compta amb pressupostos elevadíssims i oberts)
- A l'espai, l'energia abunda mentre que a la terra escasseja. En insolació directa es poden obtenir bé 1300W/m<sup>2</sup> en òrbita terrestre, a més de disposar de gran visibilitat solar (excepte durant els eclipsis), mentre que a la terra les zones de màxima insolació i de màxims consums energètics es troben separades milers de km

Així resumim els punts en comú del satèl·lit estudiat i un vehicle híbrid/elèctric:

	<b>Espai</b>	<b>Terrestre</b>
Propulsió	Tovera de plasma per arc	Camp magnètic dins del motor
Controladors	Fets a mida	Estàndard polivalent
Lògica governant prioritària	Supervivència, Funcionalitat	Funcionalitat, Eficiència, Seguretat
Mesures	Temperatura, V, I	Temperatura, V, I
Font principal	Solar	Combustió
Tampó	Bateries	Bateries i condensadors
Comunicacions	Dual CAN	Dual CAN
Connexió selectiva	Càrregues i shunts dissipadors	Càrregues i bateries (acumuladors)
Sistema crític	Redundant triple (electrònica)	Separació seguretat pilot i 3rs
Aturada emergència	Reset preventiu	Exclusiva del pilot
Assistència remota	Obligatòria	Opcional (GSM, 3G)
Bus de potència	2kW, 50VDC, 40A	100kW, 400VDC, 250A
Bateries	600Wh i 400W de punta	4.000Wh (híbrid), 16.000Wh (elèctric)
Condensadors	Estabilitzador	Regulador
Carregadors	50V amb 5 BME	400V amb 1 BMS
Operacions	Tall per sobretensió i subtensió	Tall per sobretensió i subtensió
Temperatures crítiques	Insolació, eclipsi	Hivern a muntanya, estiu al sol del sud
Rang de funcionament (tol)	+/-100°C (20-35°C)	-20/+55°C (15-40°C LFP)
Degradació principal	Insolació, impactes, envelliment	Sobrecàrregues, temperatura, cicles
Control dels subsistemes	Unitat central de processament	Centraletes independents

Taula 8-1: Taula comparativa dels sistemes espacials i terrestres

Respecte els punts esmentats a la taula superior, podríem analitzar quins potencials estan desenvolupats i quines oportunitats encara es troben pendents de cobrir. Per ara, les polítiques d'altres països han començat ja a consolidar-se i costaria molt intentar avançar-los per la maduresa de la seva

indústria i recerca.

En aquest sentit trobem:

- Corea del Sud: Ha desenvolupat una forta indústria de bateries. A nivell de vehicles, els queda encara un llarg camí per assolir els estàndards europeus, pel que prenen socis estratègics de la zona Euro.
- Xina: Pel seu sistema d'explotació, es centren en la producció massiva i de fons de gamma. En aquest sentit trobem: motors a roda de 13 polzades, bateries de  $\text{LiFePO}_4$  i rèpliques de controladors indis o americans, a més de cotxes europeus literalment copiats. També disposen d'experts per al disseny de BMS i carregadors (els fabricants europeus els demanen produir allà mateix i hi aporten els experts i els plànols). En qualsevol segment competeixen per preu, motiu pel que corren un risc de sobrecapacitat. Disposen d'un creixent mercat intern i d'uns elevats recursos naturals que sobre exploten. Compten amb una motorització de 20vehicles/1000habitants.
- Estats Units: Per la seva cultura de consum massiu i força bruta, han aconseguit crear els vehicles elèctrics comercials de prestacions més elevades mai fets: Saturn EV1 i Tesla Roadster, que comercialitzen des del 1996 i 2006 respectivament. Per la seva tendència històrica de motors d'alta cilindrada i vehicle de baixa qualitat, els costarà acceptar i perfeccionar els vehicles per a mantenir les prestacions i reduir els consums a partir del downsizing. Respecte el camp dels vehicles híbrids, han intentat copiar l'arquitectura d'un Toyota Prius Gen3 (motor tèrmic 1.8, 2 motors elèctrics, 1 bloc bateries, 20k€) amb un motor 1.2 i un bloc de bateries de massa quatre vegades superior amb un èxit limitat i un preu de sortida 20k€ superior. A nivell de motors elèctrics disposen de proveïdors i fabricants excel·lents [P016].
- Japó: Havent venut 3 milions de vehicles híbrids i tenint un mercat local de *keicars*, o vehicles lleugers [P080][P084], tenen un gran potencial pel que fa a producció de bateries i híbrids de qualsevol gamma. La manca de recursos provoca que quasi tota la matèria primera sigui importada. A nivell de refinament, disposen dels millors superesportius del mercat.
- França: té dues empreses nacionals de vehicles i una de bateries que son fortament protegides i adientment subvencionades. La seva concepció funcional del vehicle i el seu elevat segment baix-mig resulten interessants, malgrat que els fabricants intenten cada dia més desplaçar el mercat cap a vehicles més tecnificats. L'electrificació a més passa per fomentar el consum intern de productes Bolloré, Dura Car, Lumeneo, Venturi i Heuliez [P072].
- Regne Unit: Per la seva forta vinculació amb les antigues colònies, manté una estreta relació amb l'Índia (fabricació i fons de capital) i pels seus vincles amb la fórmula 1, disposa dels KERS [P003] desenvolupats en el seu territori, tant de tipus mecànic, com electromecànic, com elèctric, en estats de maduresa que van des de la comercialització fins als prototips.
- Holanda: Des de la Universitat de Delft es treballa molt fort en l'electrificació dels vehicles. Per la planitud de les vies holandeses, van molt avançats en el desenvolupament de prototips de gran recorregut, assolint autonomies superiors a 600km amb vehicles purament elèctrics. Igualment com els Suecs, són coneixedors que els BMS i carregadors de bateries són la peça clau de l'electrificació i hibridació i disposen dels més avançats en l'actualitat.
- Portugal i Itàlia: Els primers mantenen una producció i per sèries de vehicles lleugers mentre que els segons treballen més fortament en els carregadors. Ambdós països comparteixen una voluntat pionera pel que fa a l'electrificació, amb aliances amb empreses japoneses o amb grups empresarials del mateix país (Piaggio, Tazzari, Micro-Vett). També desenvolupen motors asíncrons.
- Alemanya i Àustria: Pel seu desenvolupament industrial i precisió, tenen altes capacitats per a la manufactura de blocs de motors tèrmics i el pas potencial a motors elèctrics, a més del

muntatge de vehicle sencer. Pels lobbies mediambientals treballen fortament per la supressió de nuclears al seu territori malgrat incrementar la seva dependència energètica, i aposten per l'hidrogen i el dièsel. A nivell de bateries estableixen col·laboracions estratègiques amb Corea del Sud. A Alemanya estan invertint fort en centres d'assaig i caracterització de VE i VEH. VAG està hibridant vehicles de 1500kg amb motors tricilíndrics 1.0 (mahle) i proposa la permuta  $2L+8kWe=1L+35kWe$ . Pels motors dièsel tenen problemes ja que la úrea només es pot injectar per sobre de 200°C.

- Espanya: Els plans d'electrificació i millora de l'eficiència energètica passen per la importació i subvenció massiva de vehicles italians, indis, xinesos, francesos i americans. Es disposa de moltes empreses dedicades a la importació de producte xinès, que munten en territori europeu i homologuen com a propi. Tots els plans de coordinació d'iniciatives han acabat resultant un repartiment de subvencions sense cap producte propi.
- Catalunya: Les principals iniciatives que s'alineen amb les polítiques energètiques del govern espanyol corresponen als *living labs* o circuits de proves. Pel que fa a bateries, no hi ha cap expert en la matèria industrial malgrat comptar amb experts pioners del desenvolupament de les noves químiques a nivell mundial. La potencialitat de les patents hauria de quedar en els ens públics que les explotessin i retornessin les fortes inversions que suposen per a mantenir el nivell de recerca, ja que són una estratègia de país [P058]. També es disposa d'una potent xarxa de punts de recàrrega en superfície, que resta completament infrautilitzada i d'empreses amb capacitat per fabricar motors elèctrics de gamma alta que no estan centrades en la matèria. A nivell d'electrònica de control també tenim importants empreses amb capacitat per que poden regular qualsevol motor tractor de vehicle híbrid, i empreses del sector aeronàutic i espacial poden esdevenir actors en aquest incipient mercat (GTD, Sener, Draco Systems). Comptem amb una motorització de 650vehicles/1000habitants.

Com hem vist, a tots els nivells i per a tenir un vehicle elèctric complet hi ha una manca de:

- Recerca en sistemes avançats de propulsió, d'imants permanents o inducció, multipolars, a temperatura ambient, superconductors o hiperconductors.
- Recerca en sistemes de control polifàsics, entre dues i 36 fases, per baixa i molt baixa tensió.
- Sistemes avançats de control de tracció, diferencial electrònic i *torque vectoring*.
- Sistemes de recàrrega de bateries i compensació de tensions en elements en sèrie.
- Sistemes de balanceig de tensions, per a condensadors en sèrie.
- Centraletes mestre per a la regulació del sistema.
- Sistema integrat de recàrrega i BMS, per a la recàrrega dinàmica (durant la frenada).
- Algoritmes de prioritització i implementacions.
- Algoritmes i protocols d'aturada d'emergència. Descàrrega segura de bateries.
- Sistemes de mesura i monitorització: Estat de càrrega, temperatura, tensió, corrent, energia acumulada. Programable segons les corbes, paràmetres i degradació de cada química.
- Caixa de registre i emmagatzematge per telemetria o "caixa negra".
- Sistema de comunicacions d'emergència.
- Sistemes crítics: servodirecció, tracció i control.
- Interfícies home-màquina.
- Sistemes d'aprofitament i reciclatge de les bateries (segona vida) [P035].
- Plataformes d'assaig de components, verificació i control.
- Plataformes d'assaig de vehicle sencer.
- Empaquetament, disseny i aerodinàmica (eco sèries FCM).

Ara bé, vistes les tendències actuals resulta complicat procedir a una optimització quan les

prioritats del moment encara no són ni l'eficiència ni la funcionalitat. Els preus de l'energia elèctrica i els hidrocarburs són prou baixos com per permetre malbaratar aquests recursos. Un disseny eficient pot ajudar molt a la reducció del consum i a millorar la percepció de qualitat d'un vehicle.

Així, quan les prioritats del consumidor siguin més semblants a l'espacial, més possibilitats de transferència tecnològica hi haurà. A mesura que les densitats de població s'incrementin i amb això els problemes de contaminació i d'espai (aparcaments, carrils), els criteris aniran convergint i caldrà estar preparats per al boom.

<b>PRIORITAT</b>	<b>ESPAI – funcionalitat</b>	<b>TERRESTRE – estètica percebuda</b>
1	Massa llançament	Aparença externa, estil, imatge, marca
2	Fiabilitat, qualitat	Volum exterior
3	Funcionalitat instruments	Aparença interior
4	Energia a bord, tecnologia	Equipament, qualitat, tecnologia
5	Comunicacions, mode segur	Preu
6	Dinàmica, orientació	Prestacions teòriques, fiabilitat
7	CPU-Ordinadors	Confort de marxa, seguretat
8	Sistema tèrmic	Dinàmica
9	Aparença	Consums
10	Preu	Economia de funcionament

Taula 8-2: Comparativa dels principals paràmetres de disseny actuals

Amb el temps i les complicacions pel petroli, els hàbits i prioritats s'haurien de desplaçar (tornar) cap a la funcionalitat i abandonar la regió de luxe, especialment en els segments més baixos (<15k€) de vehicles o en els segments industrials (15-30k€) i de maquinària (>30k€).

## 9 APORTACIONS I CONCLUSIONS

---

Per tot el que s'ha exposat en els vuit capítols anteriors, hi ha un fort potencial de desenvolupament que cal coordinar de forma eficaç per tal de poder construir un vehicle híbrid a Catalunya partint de la transferència tecnològica aeroespacial, i per tant concloc la tesi afirmant que **RESULTA POSSIBLE I FACTIBLE LA CONSTRUCCIÓ DE VEHICLES DE BAIXES EMISSIONS A CATALUNYA.**

A més, hi ha suficients buits de mercat, com els esmentats al capítol 8, en els que es podria treballar en col·laboració amb les diverses entitats espanyoles per tal de culminar en un projecte convergent, en comptes de moltes iniciatives de poca envergadura, disperses, efímeres, sense continuïtat ni possibilitats de ser continuades ni sostingudes en el temps per la manca de planificació i de pressupostos.

Una troballa important, és que els sistemes que calen per a construir un vehicle elèctric són plenament avantatjosos al conjunt d'activitats energètiques del país, passant des de les xarxes de generació distribuïda, fins a la micro cogeneració en illes energètiques. Cada pas que es doni en aquest sentit suposa una falca d'on en poden sortir nous brots.

Igualment amb el disseny i la planificació. Si bé és cert que el millor túnel de vent de l'estat es troba a Euskadi, també és cert que l'empresa que l'havia de gestionar ha entrat en fallida, i per tant cal trobar altres dissenyadors i provadors més assequibles que un procés mecànic d'assaig-error. En aquest sentit, un concepte de treball aerodinàmic previ ajuda molt a l'eficiència, reduint les iteracions de perfeccionament, gràcies a un concepte excel·lent. Comptem al país amb empreses de disseny de molt alt prestigi i gran potencial, que ara s'estan dedicant a la vela d'altres prestacions i de les que se'n pot aprofitar el talent.

Tampoc es disposa enlloc de bancs d'assaig que verifiquin les especificacions reals dels vehicles elèctrics o híbrids ni dels seus subsistemes d'alimentació, control, càrrega o regulació, però hi ha empreses de certificació importants, que poden jugar un rol rellevant en aquest sentit. La polivalència d'aquestes empreses i capacitat d'adaptació és un punt fort.

A nivell d'implementació, hi ha un teixit de PIME abundant, que no fort actualment, que es presenta ideal per a l'inici de la producció en sèries petites.

Finalment es compta amb una xarxa d'importadors, que també pot acabar sent un pol exportador. S'han començat a exportar vehicles a la Xina (per contra d'importar-los) i resulta interessant d'obrir-se en aquest sentit, bo i corrent el risc de transferència tecnològica passiva.

### 9.1 Aportacions més rellevants

---

El valor afegit d'aquesta tesi és una àmplia fotografia a les capacitats actuals de Catalunya respecte el seu futur energètic i del transport. El caràcter confidencial de moltes de les activitats realitzades, dóna rellevància a alguns annexes, on es mostra a títol de presentació part del material publicable elaborat per l'autor. Com a principals fites d'aquesta tesi remarcaria:

#### 9.1.1 *Conclusions sobre el capital humà*

Durant més de 5 anys hem prejubilat i tancat molts negocis que funcionaven gràcies als coneixements de tècnics altament qualificats. Aquests jubilats i aturats tenen encara el coneixement que cal per aixecar el país i no cal anar-los a buscar fora, però cal organitzar-los de la forma adient i situant a cadascú al lloc adequat en l'entorn que millor estimuli la creativitat i el treball conjunt.

També s'ha de concloure que un dels pilars bàsics que falta a la universitat és la coordinació amb la indústria. A més, hi ha una evident manca de lideratge i coordinació entre centres, professorat i cap mena de lideratge per eliminar els clústers que s'han creat arran dels centres de recerca, que han proliferat en excés i entren sovint en una competència absurda. Els departaments comptables de les universitats han de simplificar-se i no tenir tantes unitats *d'excel·lència*.

Els professionals que es formen a la universitat surten amb un nivell de competències baix (en el camp de l'electricitat) i una edat molt avançada, que en redueix altament el període productiu. Actualment hi ha eines per tal d'accelerar l'edat d'entrada a la universitat i les capacitats i aptituds a la sortida.

Per tal de millorar aquests aspectes es procedirà a la consolidació de projectes derivats de la tesi. A més, s'ha format a tècnics i especialistes en assignatures ALE a l'ETSEIB, en Màsters com el MASTAC i en Postgraus com el MOTOTECH. També s'ha fet difusió a través dels *Campus de Verano* a l'ETSEIB i de nombroses ponències, de caràcter acadèmic (MNACTEC, CETIB), local (TMB), provincial (DiBa) o internacional (FIM-Suïssa, EEVC-Bruselles).

### **9.1.2 Conclusions sobre la tecnologia del VE**

El vehicle elèctric ha de ser vist com una altra eina i no com una solució a tots els problemes que presenten els actuals models de societat: aglomeracions urbanes i industrials, orografia i producció de béns primaris. A cada problema tenim una solució diferent i que hem de saber acceptar.

Les bateries són peces clau del procés d'electrificació, però no són l'únic escull. El principal problema és la incapacitat de saber per a què serveix cadascuna de les solucions que ens brinda la tecnologia actual. I actualment el vehicle elèctric pur ha de ser lleuger i funcional.

Pel caràcter confidencial de moltes de les activitats experimentals, s'afegeix en annexes part del material publicable. En totes les construccions hi ha un important component de càlcul i dimensionament dels components, dels que la metodologia queda exposada dins de la tesi, sense explicitar-ne els valors.

A nivell industrial, s'ha contactat i visitat més de 50 empreses com Circutor, Electra Molins, Solé Diesel, RabassaInnova, NILED, AetherConsulting, Alfer, Drassanes Dalmau, ABB, Siemens, Mavilor, Sevtronics, Varelec, Helectra, Quanyaparkx, TCI conexiones, Mecatecno, GasGas, Maraz, Rieju, Guilera, Volta, Velmus i Vernis entre d'altres.

S'ha publicat els resultats de la recerca i l'estat de la tècnica en més de 20 butlletins d'impacte nacional com els Fulls dels Enginyers (COEIC) o la revista Informacions de la UPC, TF1 (televisió francesa) o TV3, i en impactes internacionals com la conferència EEVC a Bèlgica o els comunicats de la FIM que són publicats en premsa mundial.

### **9.1.3 Conclusions sobre la seguretat al VE**

La revolució del VE no es completarà fins que no hagi pres el protagonisme que li toca i no l'haguem integrat en el nostre paisatge quotidià.

Cal molta formació d'especialistes en manteniment de cara a una normalització de l'ús del VE, la qual cosa no vol dir que comporti més riscos que qualsevol dels dipòsits de combustible amb rodes que circulen per les nostres carreteres.

El canvi de denominació (Baixa Tensió – Alta Tensió) per a vehicles elèctrics respecte el REBT ve donat de forma transitòria pel desconeixement més que per les restriccions tècniques, i en un futur acabarà comportant certa confusió en la nomenclatura elèctrica. Cal ser prudent en la manipulació de tensions superiors als 60VDC, però quan això formi part del quotidià no suposarà cap altre problema que no pugui suposar qualsevol dels líquids corrosius, o combustibles, que trobem en un vehicle convencional. Personalment la considero un error abans que un encert.



Els organismes d'homologació, i alguns fabricants, estan desenvolupant normatives que freguen els límits de l'absurd. Costa entendre que fabricants de material elèctric d'automoció estiguin redactant normatives que van completament en contra seu, intentant mantenir MBTS com a bus de potència.

La seguretat ha estat l'aspecte en el que s'ha treballat més fortament en col·laboració amb la FIM. El 2010 s'ha corregut a Le Mans, Albacete, Laguna Seca, Magny-Cours i Imola i el mateix any es va imposar la normativa de fusibles i recomanar la de temperatures. A la temporada 2011, amb curses a Magny-Cours, Schleiz, Laguna Seca i Le Mans, el dimensionament del contactor principal va ser el cavall de batalla, a més dels sistemes de monitorització de bateries. Aquesta temporada 2012 de curses a Le Mans, Hungaroring, Laguna Seca, Oschersleben i Le Mans passarà a ser obligatori l'ús de termòmetres en bateries, motor i controlador, a més de tots els ítems anteriors. Fins la data d'avui no s'han registrat incidències a les sèries FIM e-Power i s'han recorregut més de 8000km a ritme de cursa.

En annexos consta el reglament present i les seves justificacions tècniques. A les curses als Estats Units es connecta un generador autònom amb els bobinats en zigzag a 60Hz per tal d'obtenir una illa a dues tensions 110 i 220V, compatible amb tots els carregadors dels participants. La FIM ha posat a disposició un mesurador de qualitat del corrent elèctric per assegurar que la qualitat de la ona és satisfactoria.

#### **9.1.4 Conclusions sobre el desglossament tècnic**

De totes les branques de la tesi, aquesta ha estat una de les més àmplies i extenses, de les que més ha costat acotar. S'ha portat a terme una diversitat d'experiments en vehicles reals i a escala que fan que tota la teoria que s'exposa hagi quedat validada. Pel ser caràcter privat, tots els projectes contenen clàusules de confidencialitat que han hagut de ser respectades.

Caldria remarcar el projecte CDTI liderat per Drassanes Dalmau fet dins del marc de la tesi, en el que es demanava una motorització innovadora per a una nova embarcació ecològica denominada *Eco Slim*. En aquest cas es va optar per una plataforma propulsora híbrida sèrie, amb dos generadors dièsel i un banc de 90 bateries AGM, connectades a dos motors asíncrons de 3 parells de pols. A més, es va dotar a l'embarcació de 40 panells solars monocristal·lins, turbines eòliques de 900W i una pila de combustible de 2kW. El vaixell té capacitat per a 150 places, 24 metres d'eslora i una mànega de 10 metres. La velocitat de disseny és de 8 nusos. El vehicle va funcionar durant tot l'estiu de 2011 al port de Barcelona, connectant amb el port Olímpic i actualment segueix operatiu.

Es pot rebaixar el consum de molts vehicles actuals de forma senzilla d'acord amb els càlculs de l'apartat 7.7.3 si s'implementen en sistemes de control de velocitat, si es redueix al màxim la massa del vehicle i també es pot optimitzar el desenvolupament de producte si es fan els assajos de forma adient a l'escala apropiada.

A més s'ha fet experiments per a la caracterització de motors asíncrons que poden desembocar en futures tesis i PFC, treballant amb l'acumulació d'energia cinètica i la seva transferència eficient. Altres experiments portats a terme han començat a treballar amb cel·les d'efecte Peltier per reaprofitar fluxes de calor, si bé els gradients necessaris encara resulten massa grans per ser compactes.

Si bé les perspectives respecte al decreixement del motor tèrmic són escasses (la cilindrada requereix un volum), el motor elèctric i el generador encara han d'experimentar forts canvis, fent-se cada vegada més compactes i lleugers, i probablement incorporant altres funcionalitats com la recuperació i acumulació d'energia cinètica.

Gràcies a la innovadora i revolucionària metodologia d'assaig a escala, es col·labora amb nombroses empreses en nous dissenys que, per ara, han de ser mantinguts confidencials.

### 9.1.5 Conclusions sobre la transferència tecnològica

El principal que podem transferir és coneixement i la lògica de control, que ja estan desenvolupats, provats, operatius i revalidats durant múltiples missions. La subcomissió d'aeronàutica del COEIC té un ampli directori d'empreses que podrien ajudar en aquest procés.

Durant els primers anys del 2000 molts pobles i ciutats han intentar promoure petits *silicon valley* en algun edifici o barri (22@, Tecnocampus, deltaLabs) amb el que part del talent informàtic ha quedat capturat en aquests petits viviers.

A nivell constructiu, tenim poca tecnologia punta, i cada dia menys teixit empresarial que pugui construir amb temps de resposta curt i mà d'obra qualificada, pel que cal actuar de forma urgent, coordinada i liderada per tècnics amb experiència i no per buròcrates de despatx.

## 9.2 Passos següents

---

A nivell estratègic personal, cal donar continuïtat a la tesi per tal de poder fabricar el vehicle completament a Catalunya. Per ara les bateries són el principal escull del vehicle híbrid, però amb les configuracions apropiades a la massa i la utilització, se'n pot minimitzar la utilització.

A nivell industrial el país pot fer-se fort industrialment si aprofundeix a mig terme per:

- Motogeneradors superconductors o hiperconductors: que permeti disposar de màquines compactes amb un rendiment elevat i una compacitat (estalvi de massa, reducció de peces) de les que fins ara no es disposa.
- Motors volumètrics de gas natural i conversions dels de cicle Otto. El motor és més lleuger que el dièsel i no requereix post tractaments dels gasos. A més, el GLP permet el treball a l'evaporador de components criogènics, com poden ser els generadors mencionats a dalt.
- Motors volumètrics de vapor. Els motors actuals perden un 35% de l'energia de la benzina pel conducte d'escapament i un altre 35% pel radiador. Si es pogués realitzar un cicle de vapor tancat de 3kW, per aprofitar aquesta energia residual, l'actual alternador podria desaparèixer i si el motor fos més petit, incrementaria el rendiment total fins al 50%, per contra de l'actual 15-30% habitual o 240g/kWh. La firma Voith hi treballa amb resultats molt positius [P064].
- Producció de motogeneradors altament optimitzats per a ser utilitzats en retrofits i híbrids sèrie. Reduint les emissions i preservant el coneixement, es podria crear una gran indústria que mantindria i revifaria el teixit industrial mecànic del país.
- A nivell d'electrònica de potència, el punt més important a desenvolupar és el sistema de control de càrrega de les bateries, de tal forma que es disposi d'un límit o tensió màxima de càrrega i d'un límit inferior o tensió mínima de descàrrega, a més de monitoritzar el corrent total i la tensió de cada cel·la d'una bateria.
- A nivell d'electrònica de control, cal centrar-se en els algorismes de control, més que en l'electrònica (els preus es disparen en desenvolupaments de hardware). Tenim grans informàtics i electrònics a casa.
- Els nivells de prioritització encara no s'han establert, tret del moment d'arrencada on avui molts vehicles desconnecten tots els sistemes per a poder completar aquesta maniobra amb èxit, aturant per uns moments les bombes de líquid, sistemes d'infotainment i motors elèctrics.
- Enllaçant amb la tesi del Dr. Juli Garcia Calvete, els vehicles elèctrics i híbrids mereixeran un tracte especial també en el seu reciclatge. Les bateries cada dia contindran materials més exòtics que caldrà racionalitzar (segona vida) com a bateries estàtiques, barrejant cel·les de

diferents capacitats i químiques, a més d'una fase de recuperació.

- Finalment, cal desenvolupar sistemes de mesura i telemetria que permetin registrar dades de funcionament de manera sincronitzada (posició, velocitat, temps, tensions, corrents, temperatures) per a assajos de camp, ja que actualment resulta molt més senzill fer aquestes mesures en un tren híbrid que amb una transmissió convencional amb motor d'explosió.

Totes les empreses visitades durant l'elaboració de la tesi, estan al corrent de les evolucions del VE i algunes hi aposten fort ja que la tecnologia ha avançat i s'ha perdut avantatge competitiu, que costarà de recuperar. A més, es troba a faltar gent formada suficientment com per a poder iniciar un desenvolupament immediat, o començar una producció en massa, de qualsevol vehicle elèctric amb garanties.



## 10 REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

---

A continuació s'inclou la bibliografia emprada per a la redacció de la tesi. Es presenta en format compacte ja que els articles i *papers* publicats en revistes afegirien extensió a la tesi sense aportar-hi més contingut.

### 10.1 Publicacions (revistes)

---

- [P001] Honeywill, T., "The bigger picture", article a *Automotive Engineer*, pp 12-13, Novembre 2008
- [P002] Toom, R., Thévenod, F., "Heat regeneration", article a *Professional Motorsport World*, p 76, Setembre-October 2007
- [P003] Bickerstraffe, S., "Spin doctors", article a *Automotive Engineer*, p 23, Octubre 2008
- [P004] Giant, Y., "Hybrid functionality", article a *Electric&Hybrid Vehicle Technology*, pp 75-76, Gener 2010
- [P005] Read, K., "Good vibrations", article a *Electric&Hybrid Vehicle Technology*, pp 20-26, Gener 2010
- [P006] Garcia Casanovas, J.M., "L'energia nuclear avui", article a *Fulls dels Enginyers*, p 9, Gener 2009
- [P007] Miles, J., "Short measures", article a *Vehicle Dynamics International*, p 62, issue 3 2008
- [P008] Honeywill, T., Kollatz-Ahnen, M., "Industry seeks support for R&D", article a *Automotive Engineer*, p 9, Març 2009
- [P009] Honeywill, T., Schwarz, D., "Economy drive", article a *Automotive Engineer*, pp 12-14, Març 2009
- [P010] "Electric pumps cools the [Chevrolet] Volt", article de l'editorial a *Automotive Engineer*, p 50, Gener 2009
- [P011] Lundh, L., Boran, C., Krekels, H-G., Nassi, M., Osajda, M., Laier, P., Rieth, P, Holzmann, F., "The five ECU car", article a *Automotive Engineer*, pp 39-45, Abril 2009
- [P012] Scoltock, J., "Motive forces", article a *Automotive Engineer*, p 17, Març 2009
- [P013] Honeywill, T., "VW first hybrid", article a *Automotive Engineer*, p 19, Març 2009
- [P014] "Air hybrids could cut fuel use 30%", article a *Automotive Engineer*, p 52, Juny 2009
- [P015] "Green powertrain development", article a *Electric&Hybrid Vehicle Technology*, pp 36-42, Gener 2010
- [P016] *Electric&Hybrid Vehicle Technology*, p 126, Gener 2010
- [P017] Scheffels, G., "High-bred hybrid", article a *International Vehicle Technology*, pp 44-49, Maig/Juny 2007
- [P018] "Car-to-car should focus on emergency braking and tailbacks", article a *Automotive Engineer*, p 52, Juny 2009
- [P019] Sahr, C., Berger, L., Lesemann, M., Urban, P., Goede, M., "Systematic material selection for the superlightcar's body-in-white", paper a *ATZ Autotechnology*, pp 22-27, Vol 10 Març 2010
- [P020] Goede, M., Laue, T., "The superlightcar has boosted confidence in multi-material design concepts", entrevista a *ATZ Autotechnology*, pp 18-20, Vol 9 Juny 2009
- [P021] Bickerstraffe, S., "Joined-up thinking", entrevistes a *Automotive Engineer*, pp 40-44, Octubre 2010
- [P022] Leonhard, R., Assoun, J., Maus W., Forst, R., Stützt, W., Fischer, R., Grotendorst J., "Engines: the end of the road?" entrevistes a *Automotive Engineer*, pp 29-32, Octubre 2010
- [P023] Schoggl, P., Haimann, A., Röss, L., "Hybrid in motorsports", paper publicat a *ATZ*

Autotechnology, pp 52-57, Gener 2011

[P024] Pullen, K., Ellis, C., "The vehicle as a kinetic energy system", paper publicat a ATZ Autotechnology, pp 54-57, Octubre 2008

[P025] Tremayne, D., "Future shock", article a Electric&Hybrid Vehicle International, pp 102-106, p 168, Anuari 2009

[P026] Wildner, O., Honeywill, T., "Series hybrids", article a Automotive Engineer, p 31, Gener 2009

[P027] Soderberg, P., "On the quiet", article a International Vehicle Technology, pp 60-61, 2009

[P028] Crosse, J., "Lighter by design", article a Automotive Engineer, pp 34-35, Maig 2009

[P029] Lukianov, G., "Laws of motion", article a Vehicle Dynamics International, pp 22-26, issue1 2009

[P030] Honeywill, T., "Driving range", article a Automotive Engineer, pp 16-17, Febrer 2009

[P031] Heeps, G. "Wheel of fortune", article a Electric&Hybrid Vehicle Technology, pp 68-72, Juliol 2010

[P032] "3ª conferencia: El futuro del automóvil, propulsiones alternativas", STA news, pp 26-29, juny 2009

[P033] Schneider, W., entrevista al vicepresident d'afers legals, governamentals i de medi ambient de Ford a Europa, Automotive Engineer, p 15, Gener/Febrer 2010

[P034] LoGrasso, J., entrevista al cap d'enginyeria de bateries de GM, Automotive Engineer, p 37, Maig 2010

[P035] Wordsworth, S., "Ten year time bomb", article a Electric&Hybrid Vehicle Technology, pp 30-38, Gener 2011

[P036] Royce, D., entrevista al vicepresident de planificació estratègica de TRW, Automotive Engineer, p 31, Març 2011

[P037] Kreimeyer, A., Kanther, W., Fischer, A., Bickerstraffe, S., "Chemical reaction", article a Automotive Engineer, pp 25-26, Juliol/Agost 2009

[P038] Lamm A., i 7 més, "Lithium-ion battery: first series application in S400 hybrid", paper a ATZ Autotechnology, pp 12-19, Abril 2009

[P039] "Baterías para vehículos eléctricos", article a Energías Renovables, pp 82-87, Octubre 2009

[P040] Bickerstraffe, Editor's keynote, Automotive Engineer, p 3, Octubre 2011

[P041] Bednarek, G., Alt, M., Geratz, K., "Six speed automatic transmission in the Opel Astra for the global market", article a ATZ Autotechnology, pp 38-43, Juny 2009

[P042] "Up to 1000Watts possible using thermoelectrics", article a ATZ Autotechnology, p 7, Juny 2009

[P043] "BMW research seeks thermal efficiency gain", article a Automotive Engineer, p 5, Octubre 2009

[P044] Rathgeber, H., entrevista al cap d'arquitectura i integració de BMW, Automotive Engineer, p 15, Abril 2010

[P045] Govindswamy, Kiran., "Gear change", article a Electric&Hybrid Vehicle Technology, p 96, Juliol 2010

[P046] Farràs, L. "Els boscos catalans, tota una central d'energia", Fulls dels Enginyers, pp 40-45, Maig/Juny 2010

[P047] Sans, J. "La paradoxa de la vida eterna dels boscos", Fulls dels Enginyers, p 9, Juliol/Agost 2010

[P048] Martínez, J. "Acciona invierte 50 millones en una planta de biomasa en Miajadas", columna a El Economista, p 19, 17 de Novembre de 2010

[P049] "És realment efectiu circular a 110km/h?" article a Revista RACC, pp 14-16, Juliol 2011 (extracte de l'informe disponible a [www.fundacionracc.cat](http://www.fundacionracc.cat))

[P050] Barth, M., Boriboonsin K., "Traffic congestion and green gases", UCTC, California 2009

- [P051] Piguillem, J.M., "Models de planificació energètica", article a Fulls dels Enginyers, p 12, Juny/Juliol 2011
- [P052] Aucock, R. "Collision course", article a Automotive Engineer, pp 40-41, Octubre 2008
- [P053] Hill, P., "Agricultural focus", article a International Vehicle Technology, p 10, Novembre 2009
- [P054] Fulls dels Enginyers, p 59, Abril/Maig 2009
- [P055] Dolader, J. "El dèficit i les tarifes elèctriques", article a Fulls dels Enginyers, p 6, Gener 2009
- [P056] Carreras Ginjaume, A. "Les energies renovables", article a Fulls dels Enginyers, p 7, Octubre/Novembre/Desembre 2011
- [P057] Isern, J., Relea, F., "Risc d'aturada eòlica a Catalunya? El perquè de tot plegat", article a Fulls dels Enginyers, pp 14-15, Octubre/Novembre/Desembre 2011
- [P058] Durán Moya, L-A., "La importància de les patents com a estratègia de país", article a Fulls dels Enginyers, p 14, Abril/Maig 2011
- [P059] Comissió d'energia del COEIC, presentació a Fulls dels Enginyers, p 86, Abril/Maig 2011
- [P060] Edwards, S., Maus, W., Honeywill, T., "Trucks get selective", article a Automotive Engineer, pp 47-48, Setembre 2008
- [P061] Scoltock, J., "Media relations", article a Automotive Engineer, pp 37-38, Octubre 2010
- [P062] Willisch, L., "We'd like to look deeper into lightweighting for future M models", entrevista a Automotive Engineer, p 19, Juliol/Agost 2009
- [P063] Crosse, J., "Lighter engines and improved interior make the latest Polo more fun than its predecessors", article a Automotive Engineer, pp 11-12, Juliol/Agost 2009
- [P064] "Feeling the heat", article a Engine Technology International, p 36, Juny 2011
- [P065] Bickerstraffe, S., "Range rover sport", article a Automotive Engineer, p 10, setembre 2009
- [P066] "BMW electric car deal charges Bosch's battery strategy", article a Automotive Engineer, p 4, Setembre 2009
- [P067] Electric & Hybrid Vehicle Technology, pp 173-176, Anuari 2009
- [P068] Gabele, H., Panik, F., Wilk, C., Ziegler, M., "Smart fuel cell", paper a ATZ Autotechnology, Vol 10, Maig 2010
- [P069] Otsuka, A., Entrevista al cap d'enginyeria del Toyota Prius Gen3 a Automotive Engineer, p 23, Maig 2009
- [P070] Honeywill, T. "Highly evolved", article a Automotive Engineer, pp 24-29, Maig 2009
- [P071] Schreyer, P., Vermeersch, L., Bischoff, K., Murray, G., Apel-Muller, M. "City Limits" article a Automotive Engineer, pp 15-21, Maig 2009
- [P072] Diem, B. "Electric cars plug in to Paris: Mounting wave of interest in battery powered transportation" article a ATZ Autotechnology, pp 60-61, Setembre 2008
- [P073] "Downsizing Breakthrough", article a Engine Technology International, pp 51-52, Setembre 2008
- [P074] "Range extender engine to be operated on alcohol-based fuels or gasoline", article a ATZ Autotechnology, p 6, Maig 2009
- [P075] "Hybrid bus with four electric wheel hub motors in operation", article a ATZ Autotechnology, p 7, Març 2009
- [P076] "Porsche to test flywheel hybrid race car at the Nürburgring" article a Automotive Engineer, p 49, Març 2010
- [P077] "A good walk improved" article a International Vehicle Technology, p 10, Març 2010
- [P078] Vergara, J.M. "Llei d'economia sostenible. Una nota sobre energia i innovació tecnològica", article a Fulls dels enginyers, p 16, Març / Abril 2010
- [P079] Bradley, N., "Foreword" a Traffic Technology International, p 5, Gener 2010
- [P080] "Affordable cars", article de la ATZ Autotechnology, p 8, Maig 2009
- [P081] Grebe, U., Fischer, R., Friedrich, A., Entrevista sobre "Powertrain strategy". Automotive

Engineer, pp 37-38, Octubre 2009

[P082] Pedrerol, J. "Qui li posa el cascabell al gat?", article als Fulls dels Enginyers, pp 6-7, Juny/Juliol 2009

[P083] Miles, J. "On the job: Crunch times. The economic downturn continues". Vehicle Dynamics International, p 14, issue1 2009

[P084] Kanai, S. Entrevista al cap de R&D de Mazda a Automotive Engineer, p 31, Octubre 2009

[P085] "The insider: are green technologies really best for the environment, or do they actually just benefit the bank balance?", article de la International Vehicle Technology, p 104, Setembre 2008

[P086] Mañas Haro, R. "¿Apostamos por la eficiencia energética?", columna a Expansión, p 14, 26 de Febrer 2010

[P087] A.M.A., "Ruiz-Gallardón prohibirá los taxis diésel en Madrid", article a Expansión, p 14, 25 de Febrer 2010

[P088] "Baltasar quiere que el 25% de los coches sean eléctricos en 2026", article a Expansión, p 7, 26 de Febrer de 2010

[P089] G.E., "Las empresas sientan las bases para que el coche eléctrico arranque en España", article a Expansión, pp 14-15, 18 de Febrer 2010

[P090] Held, W., Entrevista al cap de motors de MAN, Automotive Engineer, p 19, Març 2010

[P091] Davis, M., "No one who is nuts about the automobile wants the day ever to come when road-only engines are limited to such-and-such a speed. But that day will come". Engine Technology International, p 16, Març 2010

[P092] Heeps, G., "Editors keynote" a Vehicle Dynamics International, p 2, Maig/June 2010

[P093] Bastien, R., Entrevista al cap de R&D de Renault SAS. a Automotive Engineer, p 35, June 2010

[P094] Oursaire, P., Entrevista al cap d'estratègia de propulsions de Renault SAS. Automotive Engineer, p 36, Novembre 2010

[P095] ATZ Autotechnology, p 22, Abril 2011



## 10.2 Tesis i PFC universitaris

---

Aquesta tesi pren el relleu de tots aquests altres treballs acadèmics dirigits pel Dr Ricard Bosch, tret que s'indiqui el contrari, sense els que no s'hauria pogut avançar tant ni tan depressa.

- [U01] PFC Rosendo Cabrera Suárez i Pau Capmany, "Cap al vehicle de propulsió elèctrica: Avaluació i millores de la cadena energètica instal·lada en un seat 600" (9.5 ETSEIB 9-6-10)
- [U02] PFC Albert Peregrina Albert Pelegrina Velasco, "Acabados optimización y ajuste de la instalación eléctrica y documentación de un catamarán de 3.4 m de eslora" (10 FNB 23-7-09)
- [U03] PFC Albert Pelegrina Velasco, "Diseño y construcción del sistema propulsión eléctrica de un catamarán de 3.5 metros de eslora" (10, ETNPSV, FNB 6-9-07). Codirector amb Luis Martínez Barrios
- [U04] PFC Eduard Maria Sanuy Moya, "Estudi comparatiu de la propulsió d'un catamarà mitjançant un sistema convencional amb motor tèrmic i un sistema alternatiu utilitzant energia solar i motors elèctrics per a viatjar entre Barcelona i Palma de Mallorca" (EPSEVG, 30-1-2009). Dirigit per Jaume Miquel Massalles
- [U05] PFC Ferran Farré Torrents, "Disseny i realització del sistema electronic/elèctric d'un vehicle solar de segona generació" (10 Matricula de Honor, ETSEIB 25-1-07). Codirector amb Josep Bordonau Farrerons
- [U06] PFC Gabriel Riera Navarro "Hacia el Barco de propulsión eléctrica: evaluación experimental de propulsores sumergibles de 2 kW, 400V alimentados con grupo electrógeno" (9.5, FNB 5-2-07).
- [U07] PFC Ivan Martín Mariño, "Ciclomotor con tracción eléctrica para la caracterización del suministro eléctrico necesario", (ETSEIB, 1-6-2006)
- [U08] Tesi de Jesús Hernández Vallverdú, "Aplicació de piles de combustible PEM a motos scooter i vehicles similars", (ETSEIB UPC, Dep. Eng.Elèctrica, 4 -11 - 10)
- [U09] PFC Jorge Alfonso Lorenz, "Adaptació d'un grup electrògen amb alternador d'inducció de 2 kW per a vehicle híbrid" (8.5 notable, 21-10-03)
- [U10] PFC Miquel Vidal Parreu, "Lancha Ras: Millores i anàlisi elèctric de la propulsió" (9, ETNPSV, FNB 10-9-08)
- [U11] PFC Oscar Ureña Serrano, "Desenvolupament d'un model per al calcul de l'impost de circulació de vehicles de categoria M1 basat en criteris tècnics ambientals i de seguretat". (ETSEIB, 01-06-2008) Director Vicente Lázaro Cremades Oliver
- [U12] PFC Pedro José Talavera González, "Estudio de un vehículo eléctrico híbrido. Aplicación a un Seat 600". (10 MH, 13-6-2002).
- [U13] PFC Carles Bou Orench, "Cap al vaixell de propulsió elèctrica: Avaluació experimental de la cadena energètica instal·lada a la barca Ras" (9.5, ETSEIB 23-4-10)
- [U14] PFC Xavier Jiménez Gispert, "Estudio de viabilidad para la impulsión de un barco con la energía de las olas". (10 MH, 29-10-2002).
- [U15] PFC Sergio Jimenez, "Anàlisi experimental de nous mètodes de tracció de rotors conductors laminars sense ferro. Aplicació a tracció directe de vehicles elèctrics. Comanda electrònica. Codirectors els professors Lupon i Bordonau). (10 Matricula de Honor 20-10-04)
- [U16] PFC Sergio Marcús Rodríguez i Albert Sentinella Ribas, "Estudio y selección de componentes para una planta modular de tracción híbrida de automóviles"(ETSEIB, MMT 01-06-2010). Director Jesús Andrés Álvarez Flórez
- [U17] PFC Antonio Font Muñoz, "Modelat, simulació i control del sistema energètic d'un vehicle" (ETSEIB ESAII, 01-09-2010). Director Ramón Costa Castelló
- [U18] PFC Vicenç Olivella Blasco i Jordi Pou Pratdesaba, "Sistema de propulsió elèctrica de 6.5 kVA, per a embarcacions" (9.5 sobresaliente 21-3-06)
- [U19] PFC Marta Almazan Rozas, "Mejoras constructivas para el ensayo y medidas en tráfico abierto

de un vehículo eléctrico híbrido serie, Seat 600" (10 Matricula de Honor 21-3-06)

[U20] VV.AA. PFC compilats "Tracción híbrida. Aplicación a vehículos urbanos". CPDA ETSEIB - UPC. 1998

[U21] Tesi Eduardo Frias Valero, "Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos". Visualización en tres dimensiones de las corrientes inducidas en discos conductores homogéneos y sin hierro, actuando como rotores de motores de inducción de flujo axial. ETSEIB, UPC. 12-11-2004

[U22] Tesi Jordi Català López, "Estimació de velocitat per al control vectorial de motors d'inducció", (ETSEIAT, 14-3-2003) Directors Antoni Arias Pujol, José Luis Romeral Martínez

[U23] Tesi Josep Prat Ayats, "Noves aportacions al desenvolupament de motors elèctrics sense coixinets". Diseño y construcción de varios prototipos de motores de inducción con flujo radial y rotor tubular conductor autolevitado. ETSEIB, UPC. 12-12-97

[U24] Tesi Lluís Massagués Vidal, "Aportaciones al estudio de los motores de Inducción Magnetohidrodinámica". Método de cálculo de los estatores de motores lineales planos y tubulares, para aplicaciones de impulsión de líquidos conductores por IMHD. Construcción y ensayo de varios prototipos. ETSEIB, UPC 27-7-2001

[U25] Tesi Miguel Juan Pallarés Viña, "Hacia el motor Superconductor: Estudio de las interacciones entre un rotor superconductor y un estator convencional, y de la viabilidad de producir par y levitación". Inclusión de discos superconductores en el rotor de una máquina eléctrica de flujo axial sin hierro en el rotor. ETSEIT, UPC. 13-6-2002 Codirector Xavier Granados.

[U26] Tesi Ricard Barba Martí, "Optimizació del consum energètic en ferrocarrils, a partir del control de càrregues auxiliars". ETSEIB UPC, Dep Eng. Elèctrica . (18-11-2011). Sobresaliente Cum Laude.

Recuperación de la energía del frenado ferroviario, almacenando hielo para compensar la pérdida de frío de climatización, en la apertura de puertas durante las paradas.

[U27] Tesi Josep López López, "Nuevas aportaciones al motor eléctrico de flujo axial con rotor conductor sin material ferromagnético". Efectos magnéticos sobre el rotor de disco. Estudio de los campos magnéticos y problemáticas de entorno, continuación de la tesis de Ricard Bosch. ETSEIB, UPC. 22-12-2000.

[U28] Tesi Eduard Bertran Alberti, "Aportación al control digital óptimo de sistemas de energía eléctrica: aplicación a la regulación potencia-frecuencia", ETSETB 1-9-1985. Director Jaume Herranz Luis

### 10.3 Bibliografia complementaria

---

- [B01] "Cálculo de las corrientes de cortocircuito", Formacion Schneider Electric, 1992
- [B02] "Curso de Aparamenta", Formacion Schneider Electric, 1986
- [B03] "The Hydrogen Economy Miami Energy (THEME) conference proceedings", 1974 Plenum Press
- [B04] AGULLÓ i BATLLE, Joaquim. "Mecànica de la partícula i del sòlid rígid". Barcelona, Publicacions OK Punt. ETSEIB - UPC, 1997
- [B05] ALCALDE S.MIGUEL, Pablo "Electrotecnia", Paraninfo, 4ª ed. 1998
- [B06] ARIAS-PAZ, "Manual de Automóviles", CiE, 55ª ed. 2004
- [B07] BOIX, Oriol, SAINZ, Luis, CÓRCOLES, Felipe, SUELVES, Francisco J. " Tecnología eléctrica", CEYSA, 2002
- [B08] CHAPMAN, STEPHEN J, "Maquinas electricas", McGraw-Hill, 4ªed 2005
- [B09] CORRALES J., CORTÉS M., ENSEÑAT A., "Teoria general de maquinas electricas: ingenieria industrial" , MEC 3ª ed 1991
- [B10] CORRALES MARTIN, Juan "Cálculo industrial de máquinas eléctricas", Marcombo Boixareu, 1982
- [B11] CORRALES MARTIN, Juan "Calculo modular de máquinas electricas: manual práctico", Marcombo Boixareu, 1994
- [B12] CORTÉS CHERTA, Manuel "Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas" Editores técnicos asociados, 1970-1989
- [B13] ESCOBAR, J.J., ROCA, J.F., BRAZIS, E., GUDIOL, M. "El Vehicle Elèctric. Situació actual i perspectives". Revista Estudis Monogràfics. Generalitat de Catalunya. Departament d'Indústria, Comerç i Turisme. Institut Català d'Energia. 1999
- [B14] FRAILE MORA, JESÚS "Máquinas electricas". McGraw-Hill, 6ªed, 2008
- [B15] IVANOV-SMOLENSKI "Máquinas electricas", Mir, 1984
- [B16] KOSTENKO M.P., PIOTROVSKY L. "Máquinas eléctricas", ed Montaner y Simon , 2ª ed, 1979 (traducció de Luis Ibáñez Morlán)
- [B17] ORILLE FERNÁNDEZ, Ángel Luis, "Centrales eléctricas" (vol 2/3), Edicions UPC, 1993
- [B18] RAMIREZ VÁZQUEZ, José, "Máquinas motrices generadores de energía eléctrica" Ediciones CEAC, 5ª edició 1984
- [B19] ROMER, ROBERT H. "Energy: facts and figures", Spring street press, 1985
- [B20] SAINZ SAPERA, Luis, CÓRCOLES LÓPEZ, Felipe, PEDRA DURÁN, Joaquín "Fundamentos de máquinas eléctricas", CPDA S.L. ETSEIB-UPC
- [B21] SERRANO IRIBARNEGARAY, Luis "Fundamentos de máquinas eléctricas Rotativas", Marcombo Boixareu 1989
- [B22] VV.AA. "Tracció híbrida de vehicles", CPDA ETSEIB, 2007
- [B23] CORTES CHERTA, "Curso moderno de máquinas eléctricas rotativas" (4 volúmenes general, DC, inducción, síncrona)
- [B24] CORRALES MARTIN, Juan "Diseño y construcción de máquinas eléctricas"
- [B25] WILBI, "Sistemas eléctricos de potencia, control de generadores"
- [B26] GONZALEZ-HARPER "Grupos electrógenos", ed Limusa
- [B27] PALACÍN, Mª Rosa, "Recent advances in rechargeable battery materials: a chemist's perspective", ICMAB-CSIC, 2009



#### 10.4 Enllaços d'internet i papers

---

- [I01] Slavoj Zizek, (disponible [http://www.infoamerica.org/teoria\\_articulos/zizek02.htm](http://www.infoamerica.org/teoria_articulos/zizek02.htm) accés 6/4/2009)
- [I02] ESA – SMART 1, (disponible <http://www.esa.int/smart-1> accés 12/10/2010). Font completa capítol 4: “SMART-1: End of mission report” (ESA-ESOC, Darmstadt, Alemanya)
- [I03] 2n Forum sobre medi ambient i mon local, Dossier Final [http://xarxaenxarxa.diba.cat/sites/xarxaenxarxa.diba.cat/files/dossier\\_final\\_digital.pdf](http://xarxaenxarxa.diba.cat/sites/xarxaenxarxa.diba.cat/files/dossier_final_digital.pdf) (accés 21/6/2011)
- [I04] Argonne National Laboratory, “Developments in lithium-ion battery technology in the People’s Republic of China”, (Oak Ridge, TN: U.S. Department of Energy, disponible <http://www.ipd.anl.gov/anlpubs/2008/02/60978.pdf> accés 5/8/2010)
- [I05] Boston Consulting Group (BCG), “Batteries for electric cars: Challenges, opportunities, and the outlook to 2020”, (disponible <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf> accés 7/5/2010)
- [I06] BLAZQUEZ LIDOY, Jorge, MARTIN MORENO, José María. “El vehículo eléctrico: un reto del presente”, (disponible <http://www.mityc.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/377/76.pdf> accés 2/7/2010)
- [I07] BUCHMANN, Isidor, “The battery university”, (disponible: <http://batteryuniversity.com/learn/> accés 8/12/2010)
- [I08] DE-LEON, Shmuel, “High Power Rechargeable Lithium Battery Market”, (disponible <http://www.sdle.co.il/AllSites/810/Assets/26%20-%20rechargeable%20high%20power%20lithium%20batteries.ppt> accés 18/2/2011)
- [I09] HOWARD, Jason “Li-ion Technology Overview”, 2006, (disponible <http://www.prba.org/prba/File.aspx?Path=\Public\Jasón%20Howard%20NTSB%20Presentation%20-%20July%202006.pdf> accés 18/10/2008)
- [I10] Panasonic, “Sealed Lead-Acid Batteries Technical Handbook”, 2000 (disponible <http://www.battery-service.de/daten/bleiakku.pdf> accés 22/6/2010)
- [I11] SOTOMAYOR BASILIO, Álvaro, “Estudio de mercado sobre el coche eléctrico en España y Finlandia” (disponible [http://www.industria.ejgv.euskadi.net/r44-int0008/eu/contenidos/informacion/estudios\\_intersarea/es\\_estudios/adjuntos/finlandia-2009-coche-electrico-espaa%C3%B1a.pdf.pdf](http://www.industria.ejgv.euskadi.net/r44-int0008/eu/contenidos/informacion/estudios_intersarea/es_estudios/adjuntos/finlandia-2009-coche-electrico-espaa%C3%B1a.pdf.pdf) accés el 3/5/2011)
- [I12] QIAN, Jinrong, “Rechargeable Battery characteristics, safety, Charging and fuel gauges”, (disponible [http://e2e.ti.com/cn/cfs-filesystemfile.ashx/\\_\\_\\_key/CommunityServer.Discussions.Components.Files/32/5050.Power-1\\_2D00\\_Battery-chemistry-fuel-gauge.pdf](http://e2e.ti.com/cn/cfs-filesystemfile.ashx/___key/CommunityServer.Discussions.Components.Files/32/5050.Power-1_2D00_Battery-chemistry-fuel-gauge.pdf) accés 17/5/2010)
- [I13] VON WENTZEL, “Comparing Marine Battery Technologies”, (disponible <http://www.vonwentzel.net/Battery/> accés 1/4/2010)
- [I14] “EV Li-ion Battery Forum”, (disponible <http://www.ev-li-ionbatteryforum.com> accés 7/3/2011)
- [I15] “Nickel metal-hydride batteries”, (disponible <http://nickel-metal-hydride-battery.co.tv/> accés 13/9/2010)
- [I16] “Definición de Baja tensión y Alta tensión”, (disponible <http://www.coordinador-de-seguridad.com/alta-tension.htm> accés 15/7/2009)
- [I17] “Electric shock”, (disponible [http://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_shock](http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_shock) accés 3/2/2010)
- [I18] “Energía eléctrica: efectos sobre el organismo”, (disponible [http://www.sprl.upv.es/IOP\\_ELEC\\_02.htm](http://www.sprl.upv.es/IOP_ELEC_02.htm) accés 4/2/2010)
- [I19] VILLARUBIA, M., “Seguridad eléctrica: efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo

- humano", (disponible <http://www.ing.unp.edu.ar/electronica/asignaturas/ee016/anexo/s-BIB851.pdf> accés 7/2/2010)
- [120] "Electric vehicle cup", (disponible <http://www.evcup.com/> accés 3/1/2010)
- [121] "Radical sportscars", (disponible <http://www.radicalsportscars.com/> accés 15/4/2011)
- [122] "Tesla constructs the first induction motor", (disponible <http://www.teslasociety.com/strasbourg.htm> accés 08/1/2010)
- [123] "Latest news" (disponible <http://www.enginetechologyinternational.com/news.php?NewsID=19574> accés 9/3/2009)
- [124] "Estudiar a Catalunya", (disponible <http://www20.gencat.cat/portal/site/Educacio/menuitem.bbc1f5bf54508b0ae244968bb0c0e1a0/?vgnextoid=03525e200ecdd110VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextchannel=03525e200ecdd110VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnextfmt=default> accés 8/2/2010)
- [125] "¿Se ahorra energía al cambiar un coche por otro más eficiente?" (disponible <http://blogs.elpais.com/eco-lab/2010/05/se-ahorra-energia-al-cambiar-un-coche-por-otro-mas-eficiente.html#more> accés 8/6/2010)
- [126] PLOTKIN, Stephen E., "Examining fuel economy and carbon standards for light vehicles", (disponible <http://www.internationaltransportforum.org/jtrc/discussionpapers/DiscussionPaper1.pdf> accés 5/9/2011)
- [127] MALEN, REDDY, "Preliminary vehicle mass estimation using empirical subsystem influence coefficients", Autosteel Partnership, (disponible <http://www.a-sp.org/database/custom/Mass%20Compounding%20-%20Final%20Report.pdf> accés 5/9/2011)
- [128] PAGERIT, SHARER, ROUSSEAU, "Fuel economy sensitivity to vehicle mass for advanced vehicle powertrains", Argonne National Laboratory (disponible <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/HV/366.pdf> accés 5/9/2011)
- [129] BJELKENGREN, Catharina, "The impact of mass decompounding on assessing the value of vehicle lightweighting", MIT 2008, (disponible [http://msl.mit.edu/students/msl\\_theses/Bjelkengren\\_C-thesis.pdf](http://msl.mit.edu/students/msl_theses/Bjelkengren_C-thesis.pdf) accés 5/9/2011)
- [130] "Four key points for a competitive EU automotive industry and sustainable mobility and growth in 2020 and beyond", Going electric, (disponible <http://www.going-electric.org/news/pr-110517-cars-21-public-hearing.htm> accés 5/9/2011)

## 10.5 Comunicacions personals

---

Durant la redacció de la tesi, s'ha mantingut converses amb nombrosos actors del panorama industrial i educatiu català als qui agraeixo, entre d'altres:

- [C01] Ricard Bosch, UPC
- [C02] Pau Casals, UPC
- [C03] Jesús Álvarez, UPC
- [C04] Charles Hennekam, FIM
- [C05] Oriol Puig Bultó, FIM
- [C06] Thomas Schuricht, Münch Motorcycles
- [C07] Ryan Hollowell, Mission Motorcycles
- [C08] Jordi Roig, Bit-amina informàtica
- [C09] Carles Uris, Tallers Uris
- [C10] Robert Capella, UPC
- [C11] Francesc Baselga, Volt-tour
- [C12] Santiago Meier, Alfer
- [C13] Xavier Fernández, Suzuka Zero,
- [C14] Rafael Boronat, STA
- [C15] Joan Orús, Sun-red
- [C16] Marc Barceló, Volta Motorcycles
- [C17] Juli Planas, Garbí
- [C18] M<sup>a</sup> Rosa Palacín, CSIC
- [C19] Jaume Safont, Derbi
- [C20] Carles Carrera, Derbi
- [C21] Ivan Flotats, Mavilor
- [C22] David Casanovas, Vernis
- [C23] José Germán, LGN
- [C24] Juan Manuel Vinós, LGN
- [C25] Carles Bosch, APY
- [C26] Aleix Layola, Volt-tour





## 11 ANNEX A: DIMENSIONAMENT DE VEHICLES

Com s'ha esmentat al començament del cos de la tesi, aquesta no ha estat promocionada ni finançada per cap tercera part, pel que tot és d'elaboració pròpia i s'ha mesurat en vehicles adquirits pel doctorand.

Per tal de poder analitzar el comportament i experimentar amb vehicles elèctrics purs, s'ha hagut d'optar per models a escala reduïda, partint que el cost del vehicle elèctric (2 passatgers, 100km/h, 160km d'autonomia) més barat és proper als 17k€, no es pot assumir amb el pressupost disponible.

S'ha començat per caracteritzar múltiples vehicles, en funció de la seva massa i la potència específica. Per a tal anàlisi es busca en bases de dades i es pren una mostra el més diversa possible per a cobrir tots els vehicles terrestres existents.

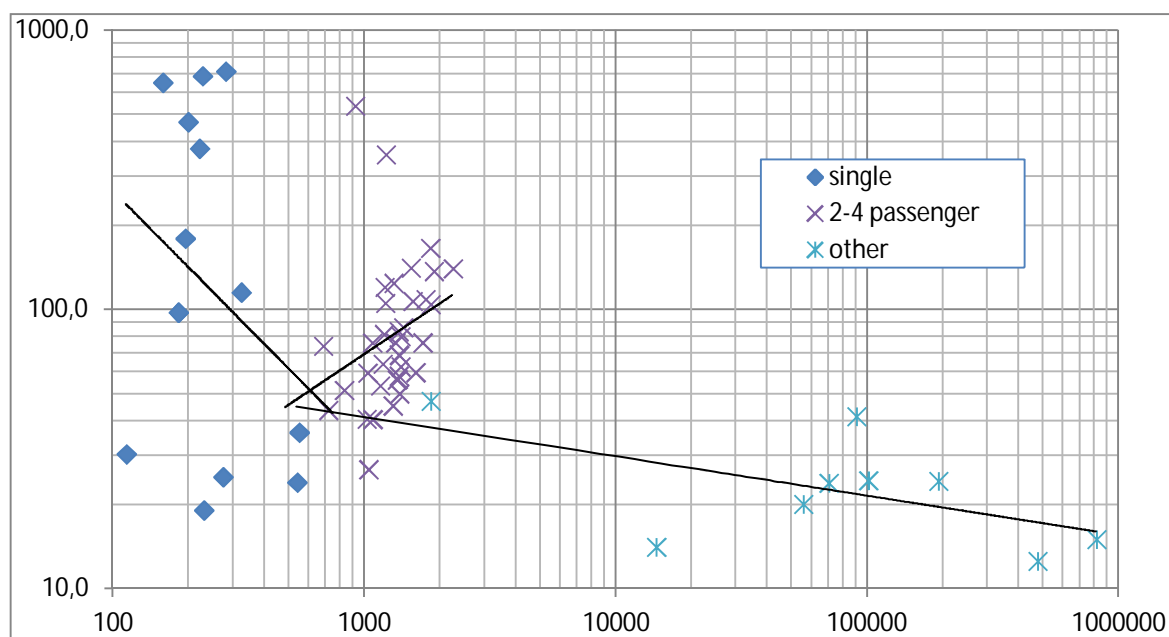


Figura 11-1: Eix X en kg i eix Y en W/kg

Cal notar que, a més hi ha una estratificació dels resultats en funció del passatge. Per sobre de 100W/kg trobem vehicles esportius i de luxe, mentre que sobre els 11 trobem els vehicles utilitaris i els transports massius.

A més, veiem que hi ha un punt de convergència proper als 500kg i 24kW, on es troben tant monoplaques com sedans i monovolums o camionetes. Aquest segment ha de ser plenament electrificable i serà el primer mercat en breus anys. Podem trobar vehicles com el Tazzari Zero, que encaixen plenament en aquest segment i son purament elèctrics.

Seguidament veiem una línia sobre els 1050kg, en una franja entre 30 i 110W/kg, que correspondria a la gamma mitja de turismes, on es podria estudiar algun tipus de propulsió híbrida.

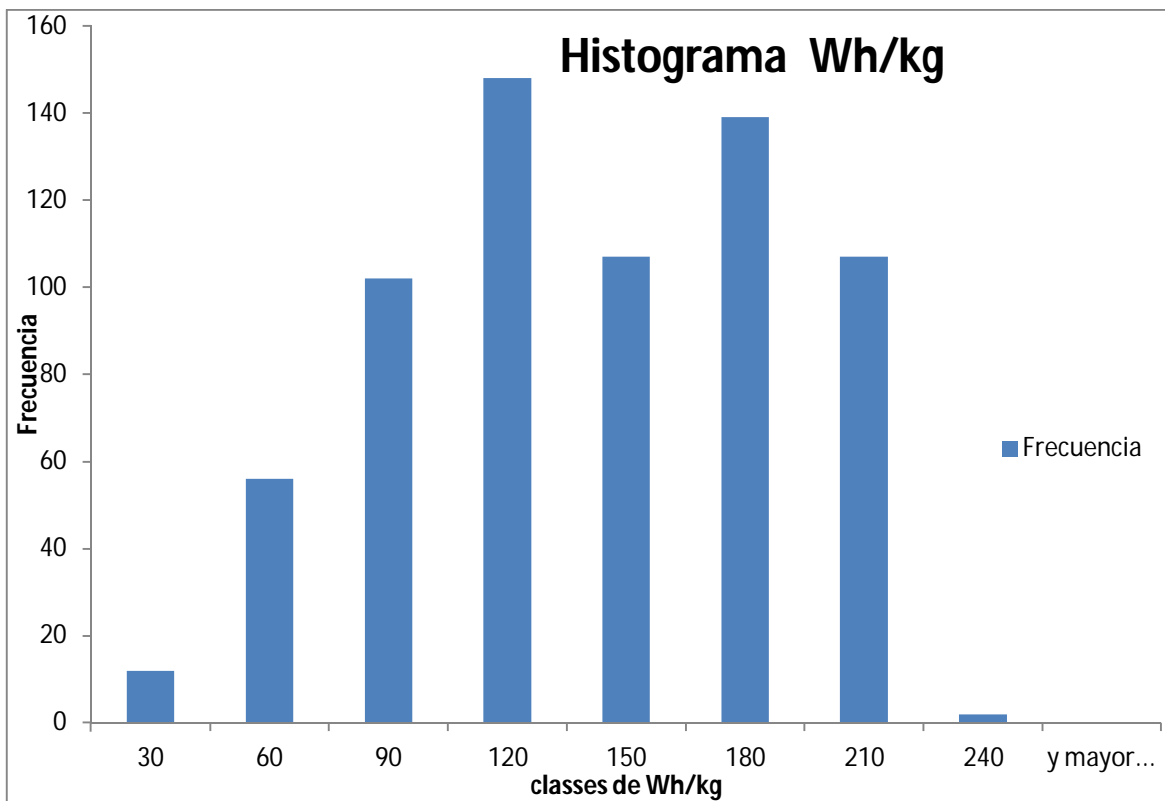


Figura 11-2: Energia específica segons els fabricants de bateries (models)

També s'ha contemplat la capacitat de les bateries recarregables facilitada pels fabricants. Curiosament trobem dues puntes a les categories de 120 i 180 Wh/kg, corresponents a dues químiques diferenciades:  $\text{LiFePO}_4$  i  $\text{LiNxCyMz}$ , que treballen respectivament a 3,2 i 3,7V. L'oferta parla bastant sobre les opcions de muntatge i quines característiques reals tenen aquestes químiques. Qualsevol valor superior és purament de laboratori i encara no es troba a l'abast públic.

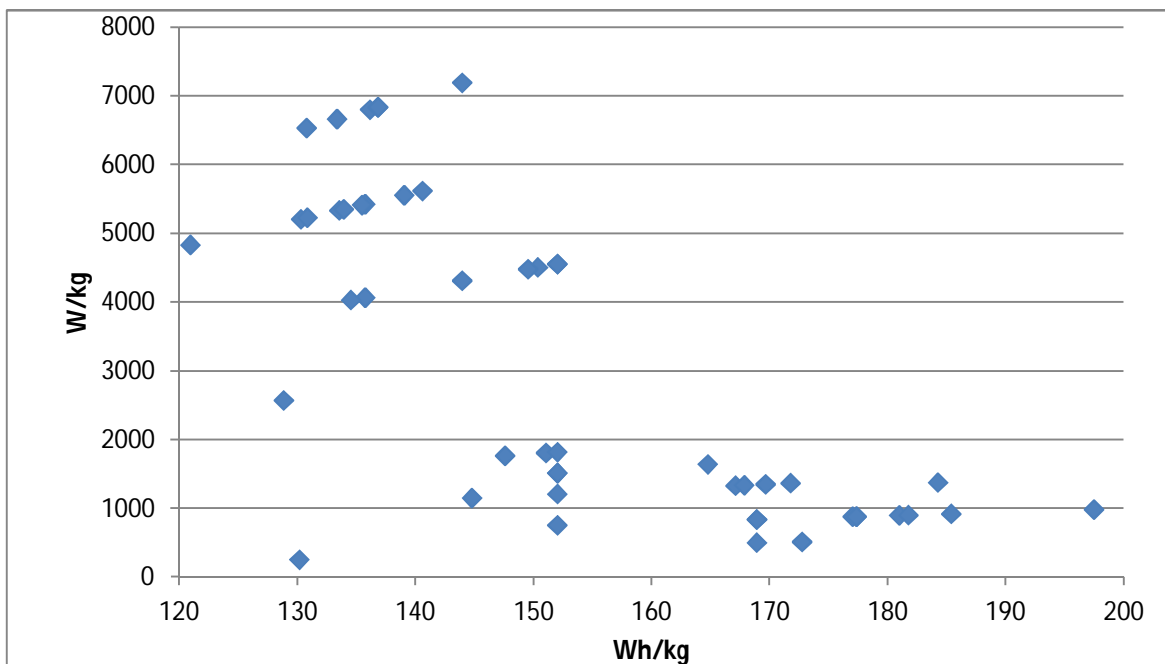


Figura 11-3: Capacitat específica (X) contra potència específica (Y)

Aquesta figura il·lustra perfectament els límits de les químiques actuals, ja que si l'elecció és per una cel·la lleugera i d'alta potència, la capacitat és un 60% de la d'una d'alta energia específica. Aquest factor ajuda a interpretar quin tipus de bateria es busca en cada aplicació. En cas de competició, se sol escollir la d'alta potència, per aprofitar al màxim les prestacions d'un pes reduït.

Seguidament i vistos els preus dels vehicles elèctrics reals, es decideix optar per al treball a escales reduïdes. Actualment existeixen reproduccions de vehicles des d'escala 1:5 fins a 1:10 a preus assequibles que si que permeten fer estudis amb relativa fiabilitat, com mostra el gràfic següent.

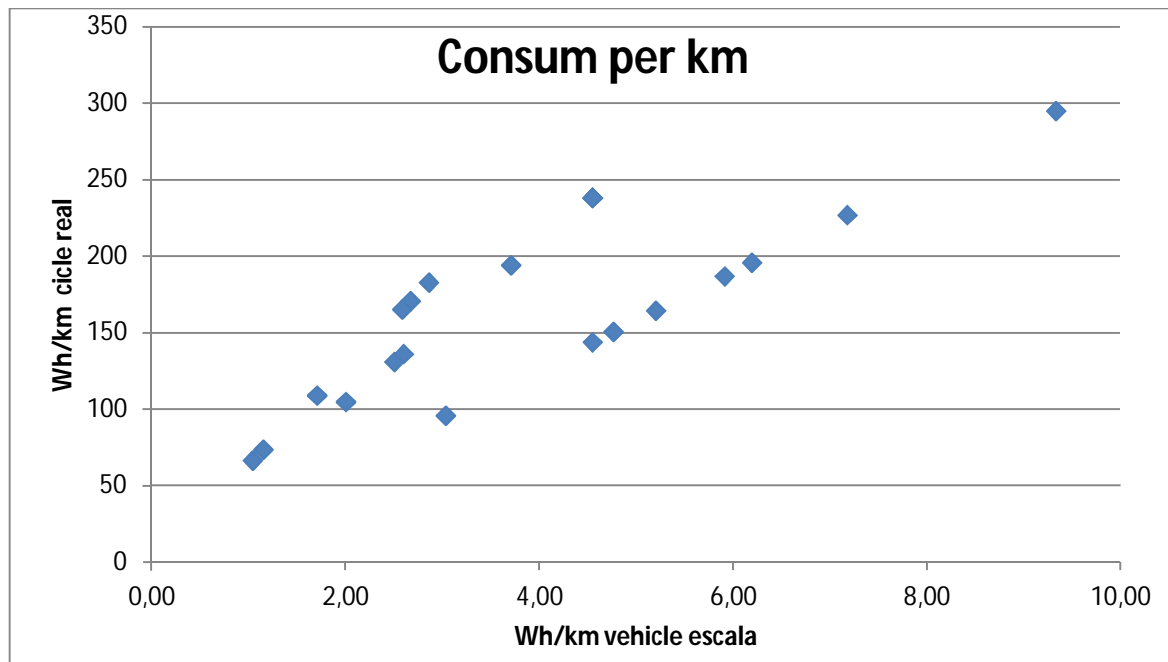


Figura 11-4: Relació entre consum real i consum d'un vehicle a escala amb bateries de NiMH idèntiques

Es pot apreciar una correlació directa entre el consum del vehicle a escala i el vehicle real i, corroborades les dades amb un vehicle de control real, es procedeix a la simulació d'altres models extenent aquesta correlació.

Els consums objectiu es fixen entre 100 i 250Wh/km, depenent de la mida del vehicle, on 100 correspon a un vehicle de 800kg del segment microcompacte i 250 a un monovolum o SUV amb tracció a 2 rodes. Els vehicles 4x4 no han pogut estar inclosos per raons de complexitat.

Actualment, els consums dels vehicles de combustió es situen entre els 4L/100km del Toyota Prius, fins als 14L/100km del Jeep Cherokee amb tracció permanent. Caldria remarcar que cada litre de combustible equival a 3000Wh aproximadament d'energia mecànica real.

Com a següent pas en aquest sentit, es podria treballar el comportament d'un vehicle 4x4 i com es veu afectat el consum en fer-ne simplificacions a escala. També caldria revisar el que passa amb les marxes, ja que alguns experts apunten que cal un mínim de dues marxes per al VE del futur [P015][P045].



## 12 ANNEX B: SIMULACIÓ D'UN VEHICLE ELÈCTRIC

Durant les primeres fases de la tesi, es va proposar al departament de màquines i motors tèrmics un experiment, consistent en mesurar els parells i esforços del tren propulsor en un vehicle convencional. Havent-se documentat suficientment, l'estudi no va poder tirar endavant per motius de contenció de costos, ja que la sensòrica en disparava el pressupost.

Avui en dia, gràcies a les prestacions dels ordinadors de sobretaula, es pot obtenir una simulació amb una precisió suficient com per a poder fer un anàlisi previ d'un vehicle, sense haver-lo de construir. En aquest cas, es tria un vehicle amb un desplaçament de 1500kg per a la competició de molt altes prestacions.

S'opta per una triple motorització, amb acoblament mecànic en paral·lel i una caixa de canvis convencional de 8 velocitats, amb embragatge hidràulic (pèrdues per friccions simulades a les velocitats límit).

Hipòtesis de treball:

- Motorització 3x140kW, de 50kg i 400Nm. Règim màxim: 8000rpm,
- Canvi seqüencial Hewland de 8 velocitats d'ampli règim: 8,34
- Triple control de 16kg i 3 soft-start de 7kg. Bus de 425V fins a 500A. Precàrrega de 25Ohm, i 200W nominals.
- Cablejat pla 4x20mm<sup>2</sup>
- Bateria LiPo NCM en configuració 7p110s de 175Wh/kg, 20Ah 3,7V 5C, i puntes de 30C
- Convertidor elèctric DC/DC a molt baixa tensió de seguretat per tal de satisferen règim continu:

Element	Consum W
Timoneria	800
Il·luminació	250
Bomba buit	250
Neteja vidres	200
Centraletes	200
Bomba aigua	150
Elements HMI	100

Taula 12-1: Elements contínuament connectats al convertidor DC/DC

Suposant un pressupost il·limitat, es podria arribar a construir, malgrat que les prestacions no podrien superar els vehicles actuals en cap de les sol·licitacions que s'han simulat, ni per acceleració, ni per velocitat, ni per velocitat de gir. L'única variable favorable és la maniobrabilitat en entorns molt revirats a velocitats baixes.



## 13 ANNEX C: LADY

L'embarcació LADY és un monobuc que serveix com a laboratori flotant d'assaig elèctric per a vehicles híbrids. Es tracta d'un model de vehicle híbrid amb un motor de benzina de 4T i 13CV, i on el generador i motor funcionen regulats pel control de l'excitació del generador, eliminant l'electrònica de potència.

El concepte es basa en l'acoblament d'un generador de 4,5kW adaptat per a donar 9kW doblant la seva velocitat de gir, un altre generador de 5,5kVA i un motor Honda de 390cc. Més endavant es pot plantejar l'opció de propulsar amb gas natural i millorar els bobinats per treballar amb hiperconductors.

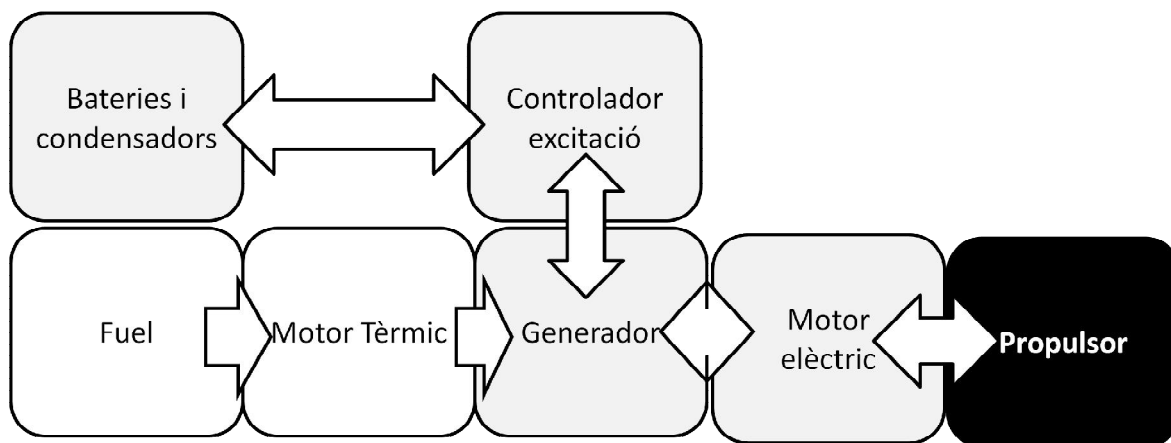


Figura 13-1: Esquema de funcionament del prototip LADY

Com es pot veure a la figura superior, hi ha moltes connexions entre elements separats. De fet, mecànicament només dues són per mitjà d'eixos rígids: la unió motor-generador i la motor elèctric-propulsor. Així doncs, les connexions mecàniques són escasses, i tota la potència es transmet a través de cables de corrent contínua. La presència de línies de combustible o busos de dades és també molt petita.

La característica principal d'aquest disseny constructiu ideat pel Dr. Ricard Bosch es basa en l'absència d'elements electrònics de potència per al govern del motor, ja que entre el generador i el motor tèrmic no hi ha cap mena d'element regulador en una primera fase, sinó que tot es fa a través del control de l'excitació del motor i del generador amb reòstats accionats manualment. L'ajust amb el motor tèrmic pot ser electrònic o bé manual amb alguna mena de desmultiplicació o avanç respecte a la resposta de la màquina elèctrica, ja que la màquina elèctrica té un temps de resposta molt inferior al motor tèrmic convencional.

Per a tal finalitat es caracteritza cadascun dels components per separat. Es procedeix primerament a la caracterització del motor de corrent continu en els modes d'excitació separada/independent, paral·lel i sèrie, tant en les condicions de rotor bloquejat com en les dinàmiques sense càrrega.

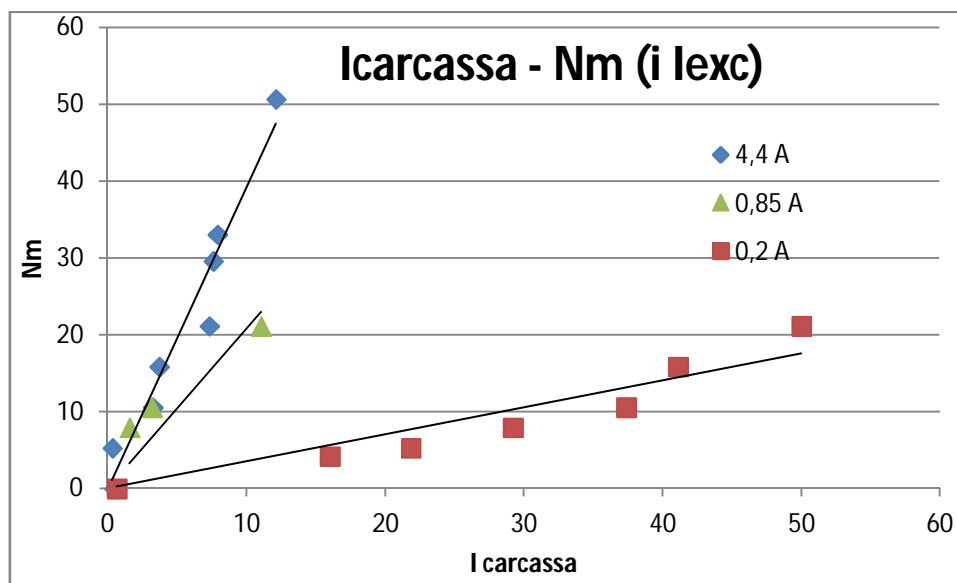


Figura 13-2: Comportament en excitació separada i amb rotor bloquejat

Bloquejant el rotor es proporcionen diferents corrents d'excitació al camp i diferents corrents al rotor. És obvi que a majors corrents, major és el parell d'arrencada. Les maniobres d'aturada són complicades si es manipulen les tensions per separat, principalment pel risc d'embalada de la màquina rotant un cop es treu el bloqueig del rotor.

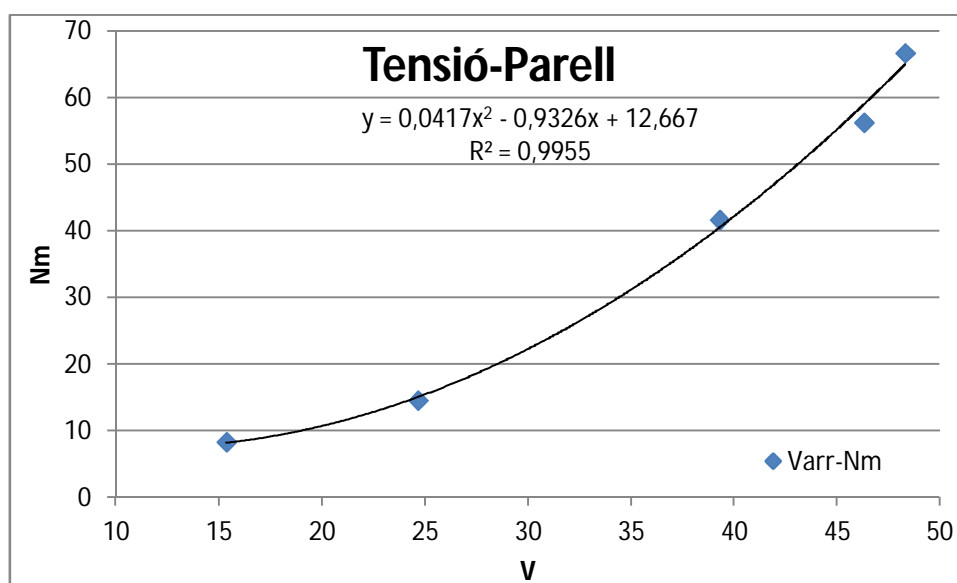


Figura 13-3: Resultats amb el rotor bloquejat i connexió en paral·lel

En la connexió paral·lel, la variació de tensió afecta per igual a ambdós bobinats, amb la corba parabòlica quasi perfecta que caracteritza aquesta configuració. Si bé a alta velocitat serviria de molt per a tenir un consum més ajustat, és un sistema exigent perquè presenta un camp molt feble a baixes tensions (modifiquem els dos camps alhora) i, per tant, presenta un baix parell d'arrencada.

A més, el magnetisme remanent genera fortes inestabilitats en el control, que fa desaconsellable aquesta configuració. La configuració en excitació independent entre dinamo i motor queda fora de l'abast d'aquest treball per motius de logística i les construccions prèvies necessàries al taller, combinant l'alternador de 5,5kVA



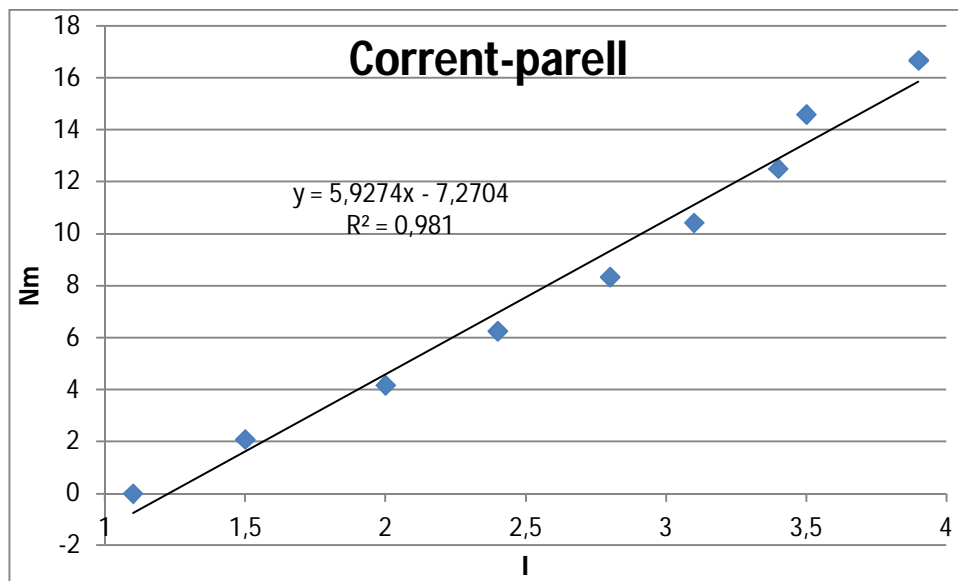


Figura 13-4: Resultats del motor amb excitació sèrie amb el rotor bloquejat

En aquest darrer cas es veu que la característica de parell és molt pobre, si bé lineal. Això és degut al disseny de la màquina. Constructivament ha estat dissenyada per a funcionar amb excitació separada i presenta la limitació que no es poden superar els 4A d'excitació per la mateixa construcció dels bobinats.

Així doncs veiem que interessaria sobretot poder trobar una manera pràctica de mantenir un control eficaç del parell per control d'excitació sincronitzant el motor tèrmic i el generador de corrent contínua.

En assajos posteriors es determinarà el temps de reacció de cadascun dels elements per tal de poder muntar un sistema de control adient, amb regulació anticipada al motor que presenti un temps de resposta més àgil.



## 14 ANNEX D: ASSAIG EN SOBRECÀRREGA

Es disposa al laboratori de motors d'inducció amb els que s'assaja les seves característiques transitòries. Concretament es pren un motor Novat de 1,5kW, trifàsic a 50Hz, de 2 parells de pols (1500rpm) i 220V entre fases. També es disposa d'un acumulador cinètic compost per 2 motors Mavilor, un MA55 (AC), un MSS8 (DC) i un disc de 19kg amb un moment d'inèrcia de 0,1368kgm<sup>2</sup> [U08] optimitzat per Ramón Garrigosa en la seva tesi.

S'estudia l'alternativa a una font electrònica de control de corrent i freqüència variable per alimentar directament el motor, el sistema es fa servir alimentat pel bus de corrent continu de tensió variable que disposa la taula d'assajos del laboratori, que farà girar l'acumulador cinètic i el generador d'imants d'on es traurà l'alimentació trifàsica que anirà al motor asíncron. Les mesures es realitzen amb l'oscil·loscopi (Yokogawa), els amperímetres shunt (60mV=10A), voltímetres i comptavoltes calibrats del taller amb lectures TRUE RMS.

A rotor aturat ( $s=1$ ) es comporta com una resistència de 3,6Ohm en sèrie amb una inductància de 17,435mH. Les mesures a baixa freqüència presenten una lleugera desviació (0,05%) perquè la temperatura del motor encara no s'havia estabilitzat i els olis dels rodaments encara no presentaven un comportament estable i permanent que doni parells regulars.

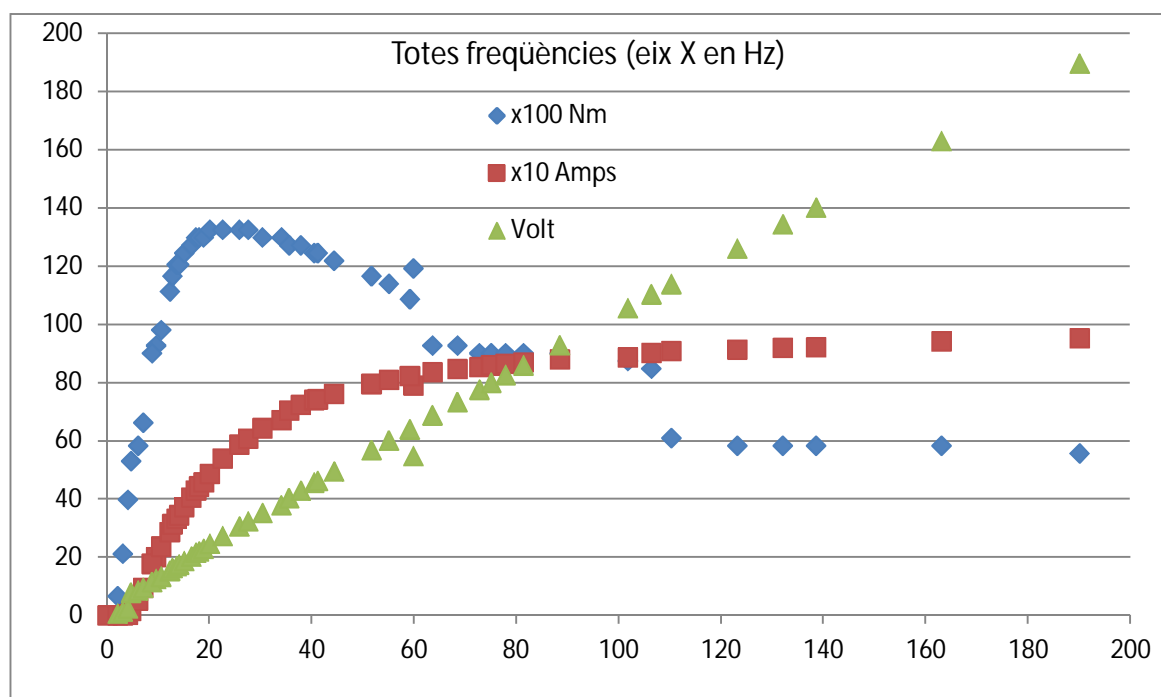


Figura 14-1: Parell-corrent-tensió d'alimentació del motor asíncron amb el rotor parat

Segons es desprèn del gràfic, cap als 28Hz, l'acoblament és òptim i permet el màxim parell. Així com a nivell mecànic mantenir una força constant, una molla, no requereix aportació energètica, mantenir un parell en una màquina elèctrica implica la creació d'un camp magnètic que generi aquest parell, a partir de la circulació d'un corrent elèctric.

Aquest acoblament anirà intrínsecament lligat al camp magnètic que es generi a la gàbia d'esquirol i que ve determinat pels paràmetres de la seva construcció, alineament, simetries, profunditat/s de les ranures i materials de fosa i a l'estructura interna de l'estator: nombre de ranures, forma del camp magnètic i entreferro.

Les pèrdues per aquesta energia reactiva (corrent addicional), representen un consum que també s'ha de tenir en compte, igual que el punt anteriorment esmentat de cara a l'optimització de velocitats de funcionament.

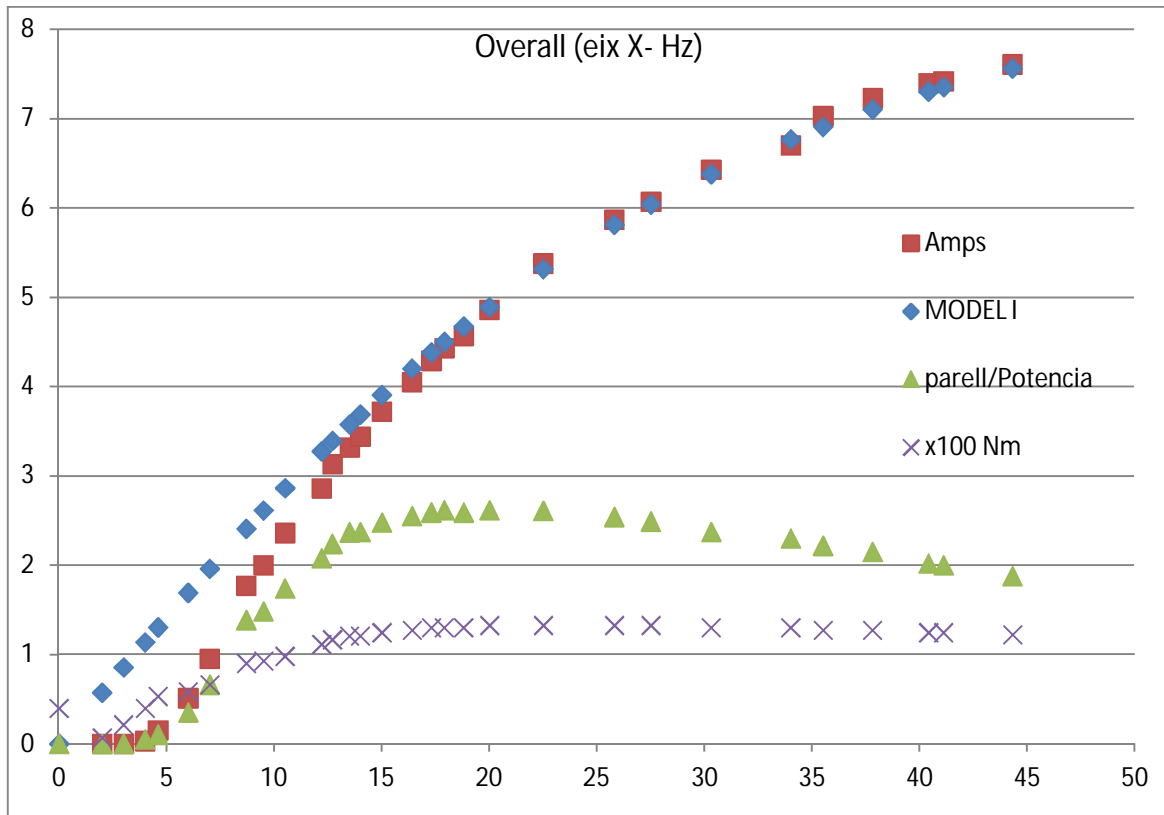


Figura 14-2: Ajust del model computeritzat (blau) i l'experiment (vermell)

Seguint amb la caracterització, es fa un assaig amb el rotor aturat on es fa una escombrada a les freqüències més baixes. Com que el motor ha estat dissenyat per a un rang de freqüències i corrents, es limita aquest modelatge als 50Hz.

Per tal de seguir definint el comportament de l'acoblament magnètic i les inèrcies del motor, a nivell dinàmic s'assaja una arrencada des d'aturat amb l'ACEE engegat a diferents velocitats.

Com a dades de referència es prenen: la freqüència del camp rotant (eix X) i el temps en segons que necessita el rotor per assolir la velocitat nominal (lliscament  $s=0,05$ , a partir de l'oscil·loscopi i l'estroboscopi).

Noti's la progressió de la prova, on l'escala de temps és creixent i on es manifesta que cada cop li costa més al rotor seguir el camp giratori.

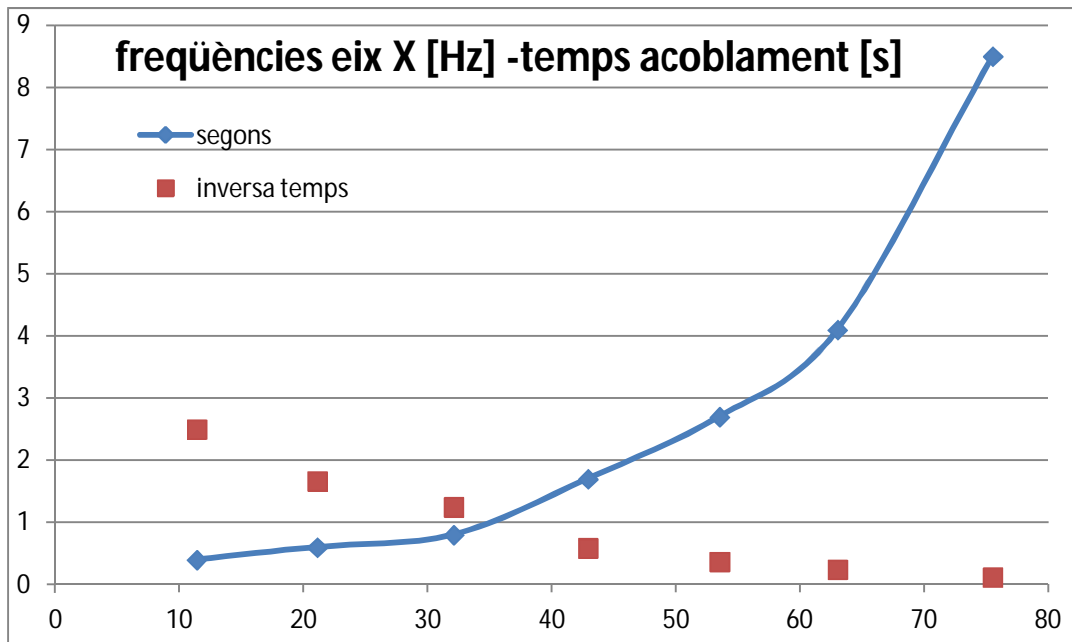


Figura 14-3: Experiment que mostra el temps d'acoblament en funció de la freqüència

D'on es veu clarament que per construcció el motor és incapaç d'acoblar-se a freqüències superiors a 80Hz (el temps es torna infinit) i per tant no pot arrencar. Els variadors de freqüència electrònics permeten sempre mantenir el lliscament controlat al nivell de parell màxim (inferior en aquest cas als 28Hz), estalviant energia i optimitzant la velocitat de rotació. Aquests dispositius, però, no disposen de potència transitòria elevada (Wh), com una màquina elèctrica generadora d'imants permanents, de massa rodant elevada.

Caldria seguir explorant en estudis més acurats el fenomen, per ajustar el model de la figura 14.2.

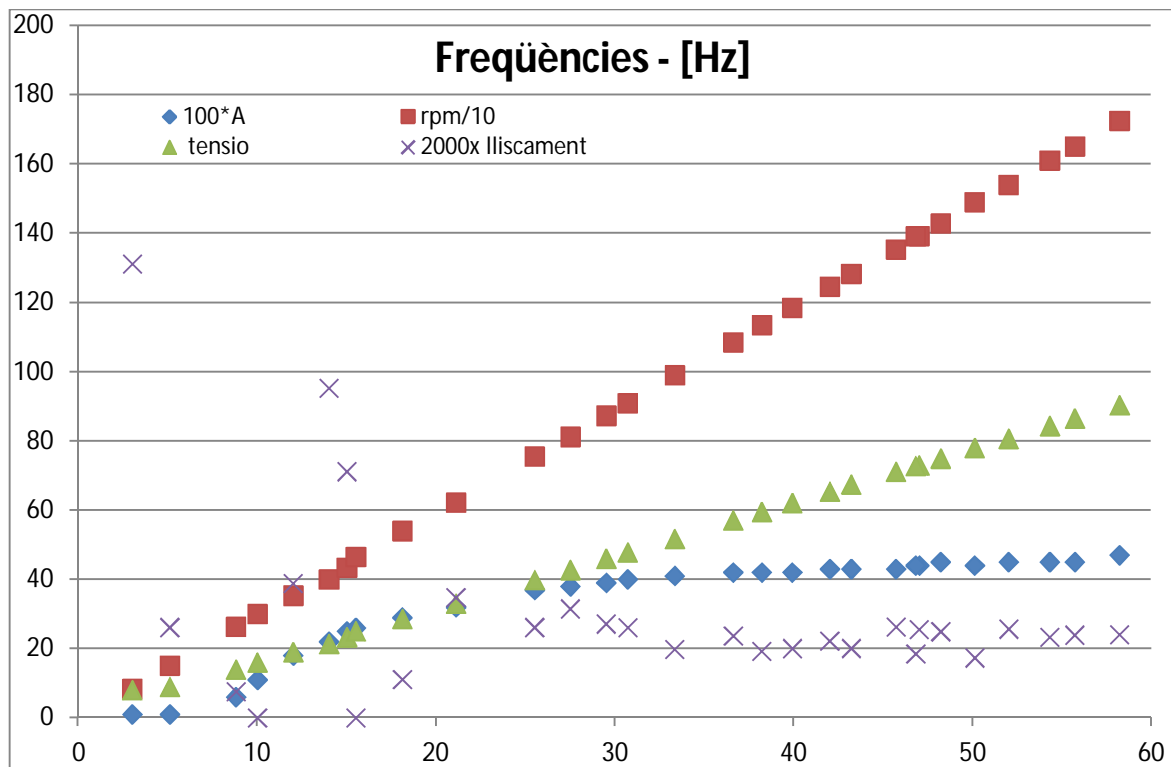


Figura 14-4: Zoom per veure l'acoblament a baixa freqüència i l'estabilitat propera a 50Hz

Seguint amb l'anàlisi dinàmic, es deixa assolir un règim constant a la màquina síncrona. Se'n mesuren el règim de gir, la freqüència del camp, la tensió i el corrent. A nivell funcional veiem que té un lliscament en buit molt baix (0,1%) entre 40Hz i 60Hz, que el fan molt estable a velocitats properes a la de sincronisme.

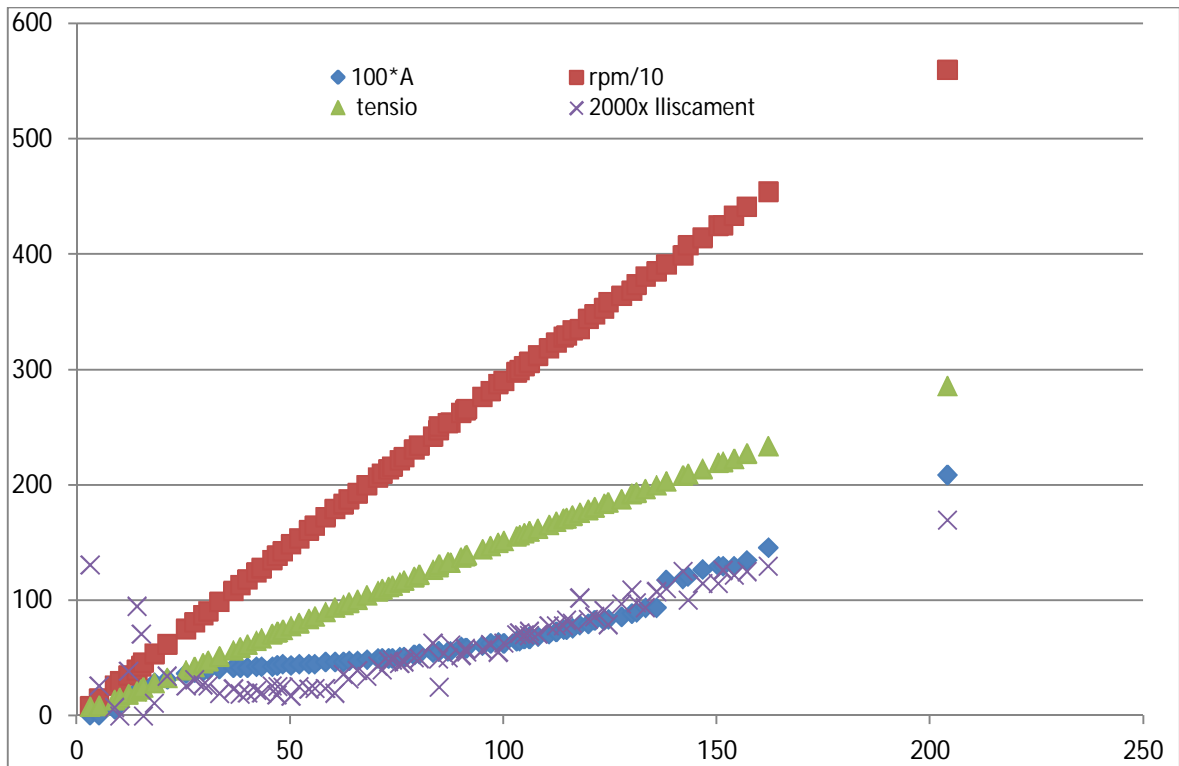


Figura 14-5: Comportament del motor d'inducció en buit a diferents corrents i tensions d'alimentació

En assajos fora de rang, s'han assolit velocitats en buit de 8000rpm amb el motor que inicialment estava dissenyat per a un règim de 1500rpm, sense registrar-se problemes d'escalfament, ans el contrari, ja que el motor funcionava hiperventilat, i quasi tota la càrrega era quadràtica per l'efecte viscos del ventilador. No hi ha hagut problemes de vibracions però sí de soroll aerodinàmic, i molt sever ja que els assajos s'havien de fer amb proteccions auditives. Es podria seguir explorant diferents motors fins als 70Hz i les gammes baixes de fins a 5Hz per exemple, amb motors IP68 com els de la RAS.

## 15 ANNEX E: FIM E-POWER

---

En aquest annex, s'hi inclou el detall de les justificacions tècniques pels que la reglamentació de la competició FIM e-Power 2011 és redactada pel doctorand d'aquesta manera. Com que a nivell comercial hi ha millores d'un any per altre, es manté una revisió anual d'aquest reglament en funció dels productes. A cada temporada s'hi incorporen modificacions que són acceptades per la FIM (disponibles a [http://www.fim-live.com/fileadmin/alfresco/E-POWER\\_2012\\_Ang.pdf](http://www.fim-live.com/fileadmin/alfresco/E-POWER_2012_Ang.pdf)).

### 2. TECHNICAL REGULATIONS

**The technical concept is for motorcycles with two wheels, having traction on one or both wheels (scooters excluded). Amendments to the technical regulations may be made at any time in order to ensure fairer competitions.**

Aquesta primera línia es basa en que hi ha gent que compra scooters de baixa qualitat, dissenyats per a un ús urbà (100km/h de punta), i que no poden competir al costat de motocicletes un 300% més ràpides, pel risc de col·lisió posterior en pista. Tan bon punt surtin nous conceptes més ràpids, s'eliminarà aquesta exclusió. Tenir motors en una o dues rodes ajudarà a entendre el funcionament d'un mòbil d'una roda: una moto tracciona en un 100% darrera i frena un 90% davant, pel que una doble motorització s'ha de promocionar com a KERS.

**If a motorcycle is found not to be in conformity with the technical regulations during or after the practices, his rider will be given a ride through penalty for the next race. Further penalties (such as a fine – a suspension and/or a withdrawal of Championship or Cup points) may also be imposed. If a motorcycle is found not to be in conformity with the technical regulations after a race, his rider will be disqualified. Further penalties (such as fine – a suspension and/or a withdrawal of Championship points) may also be imposed.**

En aquest punt es clarifiquen les sancions imposables al pilot en cas de no tenir la màquina conforme a les regulacions tècniques mencionades al present document, sabent clarament que hauran d'acatar les decisions que el jurat de la cursa consideri oportunes.

#### 2.1 GENERAL SPECIFICATIONS.

**Two wheeled autonomous (self supplied) electrical driven motorcycles.  
The number of electric motors is free.**

S'obliga a muntar les dues rodes de la motocicleta de manera que la traçada sigui una sobre la trajectòria del vehicle. La tracció s'ha de realitzar per mitjà d'un o més motors elèctrics. No hi pot haver cap altra font de parell a roda que aquest conjunt tractor ni l'esforç físic del propi pilot.

##### 2.1.1 Energy recharges

**Energy supply will be provided in the paddock at the times and locations determined by the organiser.**

Per tal de mantenir una zona de treball neta i amb un respecte per l'entorn es limita estrictament l'ús de generadors i fonts autònomes d'abastiment energètic. Pel fet de tenir premsa i voler promocionar una mobilitat més eficient i neta, es forçarà el compliment d'una política d'imatge ambiental més estricta que amb d'altres disciplines amb motor d'explosió convencional.

Aquesta clàusula obliga a garantir el subministre elèctric adient als competidors. Als Estats Units es faciliten 220V 60Hz als equips europeus en comptes de 230V 50Hz i 110V 60Hz per contra de 115V 60Hz als americans. En requerir una doble tensió es fa servir un motogenerador síncron trifàsic connectat en zigzag d'on es penjen els carregadors de les motocicletes.

**The charging system must be separate from the machine and comply with all electrical safety requirements including thermal overload trip, fusing and be equipped with an earth leakage protection breaker.**

El sistema de càrrega és, a més d'una font d'interferències elèctriques, una massa que s'ha d'evitar tragar al vehicle. Com que els circuits actuals no tenen una instal·lació capaç de suportar grans consums elèctrics (una moto pot requerir fins a 5kW per a recarregar), els equips han de reduir les emissions d'harmònics radiats i conduïts a la xarxa, pel que resulten equips pesats. Amb tanta electrònica i per evitar fallades generals de la instal·lació, cal que cada equip porti la seva caixa de proteccions.

## **2.2. TECHNICAL CONTROL**

**As a condition of entry, all safety items onboard the motorbike must be precisely described and presented at the Technical Control (Art. 2.12).**

**The Technical Director shall check both the machine and the rider for compliance with the technical specifications, as well as the employment of good engineering construction practice, the provision of adequate electrical insulation and weatherproofing. The rider must present his helmet, leathers, gloves and boots to Technical Control to demonstrate good condition.**

L'objectiu de la inspecció tècnica és la verificació que la màquina no presenta, a grans trets, cap incompliment del reglament i que, en principi, no suposa cap risc per al pilot, els espectadors, ni els comissaris de pista. En aquest sentit, s'és molt estricte en els aspectes que comprometen la seguretat, arribant a vetar l'entrada a pista, fins que les reparacions adients no siguin postes en pràctica, inclosa la indumentària del pilot.

**Damaged machines must be returned to the technical control area for examination after race or practice. In such circumstances it is the responsibility of the competitor to ensure both his machine and clothing have been rechecked and approved before further use in the event.**

Bo i que encara no s'ha donat el cas d'incidents en cursa, es procedirà com amb les motos convencionals. Les màquines que s'involucrin en qualsevol incident, hauran de ser revisades pels mateixos pilots abans de reprendre la cursa. Qualsevol penalització que se'n derivi recaurà directament sobre el pilot.

**It is the responsibility of the rider to ensure that a machine used in competition is electric, mechanically and structurally in a safe condition.**

**In case of a dispute, the decision of the Technical Director will be final.**

El pilot és qui porta la màquina i qui s'ha d'assegurar durant els entrenaments de pretemporada que és segura, plenament funcional i estable estructuralment. En cas d'incomplir el reglament, el director tècnic informa al jurat que la màquina no es troba en condicions de competir.

### **2.2.1 Conformity**

**It is the duty of each competitor to show the Technical Stewards of the meeting that his/her vehicle fully complies with these rules and the rules governing the meeting, in their entirety at all times.**

El pilot ha de ser el primer responsable de la seva moto i equipament. Qualsevol incompliment recaurà en sancions contra ell i la seva classificació.

## **2.3 COMPONENTS**

### **2.3.1 Number Plates**

**The background colours and figures (numbers) are green background with white numbers.**

**The sizes for all the front numbers are: Minimum height: 160 mm Minimum width: 80 mm**

**Minimum stroke: 25 mm**



**The size for all the side numbers is: Minimum height: 160 mm Minimum width: 80 mm  
Minimum stroke: 25 mm**

**The allocated number for the rider must appear at least three times on the machine. The number on the front must be affixed only once in the centre of the fairing. The two side numbers must be located on the left and right side of the seat or the fairing. The numbers must be visible to spectators and officials from both sides of the track. In case of a dispute concerning the legibility of numbers, the decision of the Technical Director will be final.**

Per tal de poder indentificar bé els vehicles en cursa, cal muntar unes plaques amb un dorsal. Com a mínim s'han d'exposar 3 plaques als dos costats i frontal de la moto, per tal de facilitar la feina als comissaris de cursa i públic.

### **2.3.2 Handlebars**

**Exposed handlebar ends must be plugged with a solid material or rubber covered. The minimum angle of rotation of the handlebar on each side of the centre line or mid position must be 15° for all solo motorcycles. Whatever the position of the handlebars, the front wheel, tyre and the mudguard, a minimum clearance of 10 mm must remain with the motorcycle (parts).**

**Solid stops, (other than steering dampers) must be fitted to ensure a minimum clearance of 30 mm between the handlebar with levers and the body when on full lock to prevent the rider's fingers for becoming trapped.**

**Handlebar clamps must be very carefully radiused and engineered so as to avoid fracture points in the bar.**

**The repair by welding of light alloy and titanium handlebars is prohibited.**

El manillar ha d'acabar en extrems arrodonits per evitar ferides en cas de caigudes. Igualment les mans no poden quedar atrapades (dits) en cas de caiguda en qualsevol dels dos extrems de bloqueig. Qualsevol material exòtic queda exclòs igual que les reparacions per soldadura.

### **2.3.3 Control levers**

**All handlebar levers must be ball ended (diameter of this ball to be at least 16 mm). This ball can also be flattened, but in any case the edges must be rounded (minimum thickness of this flattened part 14 mm). These ends must be permanently fixed and form an integral part of the lever.**

**Each control lever (hand and foot levers) must be mounted on an independent pivot.**

**The brake lever, if pivoted on the footrest axis, must work under all circumstances, such as when the footrest is bent or deformed.**

També han d'acabar arrodonits tots els extrems de les palaques de control de la motocicleta: frens, pedals i qualsevol accionador per evitar puncions accidentals.

### **2.3.4 Power control**

**A 'self-closing' throttle (power control) must be applied.**

El puny de "gas" ha de poder retornar automàticament a la posició original. Resulta molt pràctic en cas de caiguda o d'incident amb el pilot, ja que es deixa de demanar parell a la roda.

### **2.3.5 Foot Rest/Foot Controls**

**Foot rests may be mounted rigid. Folding type footrests must incorporate a device to return them to the normal position. The end of the foot rest must have at least an 8mm solid spherical radius.**

**Non folding footrests must have an end (plug) which is permanently fixed, made of aluminium, plastic, Teflon® or equivalent type of material (with a minimum radius of 8mm). The plug surface must be designed to reach the widest possible area of the footrest.**

**The Technical Director has the right to refuse any plug that does not satisfy this safety aim.**

Fins i tot els estreps de la motocicleta també han d'acabar arrodonits. En cas de caiguda no han de perforar les bótes ni el vestit del pilot.

### 2.3.6 Wheels, rims and brakes

- Carbon wheels are forbidden.
- Only brakes made of ferrous materials are allowed.

Les llandes de materials compostos resulten molt complicades de verificar en cas de caiguda o incident. De la seva integritat en depèn la seguretat del pilot. Fins que no es comercialitzin sistemes de verificació amb una major fiabilitat que les llandes actuals (que també fallen en un 1/10.000) no es permetrà el seu ús en qualsevol de les disciplines FIM. La darrera mort en accident per aquesta causa va ser el 1994 al TT de la Illa de Man.



Figura 15-1. Exemple de fallida en llanda d'aliatge (cortesia de Linden Adams, SBK Donington Park 2011)

La restricció als frens és per motius de mantenir els costos.

### 2.3.7 Tyres and tyre warmers

- Tyres are free.
- The use of tyre warmers is allowed.

Per ser una categoria de prototips, es dona total llibertat de rodes i pneumàtics.

### 2.3.8 Streamlining

**The rider must be completely visible from either side except for the rider's hands and forearms which may be obscured by bodywork, the inclination of the number plate must not render the front number plate invisible when viewed from the front.**

La mesura de seguretat principal que equipen les motos és la sortida lliure del pilor en cas d'impacte (la màquina absorbeix l'impacte totalment i el pilot surt disparat per una altra banda). Per tant, carenats integrals queden descartats bo i podent millorar l'aerodinàmica.

**The maximum width of the bodywork (including airfoils or spoilers) must not exceed 800 mm. The width of the seat or anything to its rear shall not be more than 500 mm. Bodywork must not extend beyond a line drawn vertically at a distance of 200 mm to the leading edge of the front tyre and a line drawn vertically at a distance of 400 mm to the rearward edge of the rear tyre. The suspension should be fully extended when the measurement is taken. When liquids are used, the bottom fairing section must be closed to hold a minimum of 5 litres of fluids.**

L'amplada màxima ha de ser la mateixa que la d'un vehicle que es pugui comercialitzar en un futur, i ja que l'amplada de l'esquena i el maluc humà normalment són inferiors a l'amplada màxima proposada, es fixa aquest valor.

**The use of carbon fibre or carbon composite materials is allowed.**

La fibra de carboni és una tendència "chic" en la fabricació de parts lleugeres. Té una demostrada rigidesa estructural, que tampoc és recomanable en excés, ja que aleshores la màquina esdevé de moviments bruscos i impredecibles. A més, la fibra de carboni és conductora elèctrica i pot tenir comportaments perillosos en cas de fallida elèctrica. Per contra, les fibres de kevlar no són conductores, presenten valors molt inferiors en fregament i resulten més duradores. Les fibres de vidre tampoc són conductores i resulten molt més assequibles. Dependent de la resina emprada, els riscos d'inflamabilitat s'han de revisar amb els enginyers de cada motocicleta.

**Sharp edges must be rounded off.****Movable aerodynamic devices are not permitted.**

**With both wheels (tyres) on the ground, it must be possible to lean an unloaded motorcycle at an angle of 45° from the vertical position without any other part touching the ground.**

Qualsevol aresta s'ha de polir i arrodonir apropiadament, per evitar que no es clavi en cap circumstància. L'ús de dispositius aerodinàmics mòbils no s'ha usat històricament i s'ha prohibit per por, malgrat que en curses d'eficiència acabarà sent necessari tolerar, usar i fomentar. Per la dinàmica de la motocicleta, és necessari tenir un cert angle per a poder inclinar-se compensant l'acceleració lateral. Amb 45 graus es podria fer front a una acceleració lateral de fins a 1G, mentre que el coeficient d'adherència límit ( $\mu$ ) és de 1,2. De fet, amb una càrrega als amortidors de 1,6 vegades la massa en ordre de marxa, la motocicleta hauria de poder inclinar-se fins a 51°, el que passa és que això resulta molt complicat de mesurar en una verificació tècnica ràpida.

**2.3.9 Machine Weight**

**Motorcycle minimum weight is 90 kg, maximum weight is 250 kg. The machine will be weighed 'ready-to-race'. No weight tolerance will be applied at the technical verification checks after practice and race.**

Una motocicleta elèctrica no té altra variació de pes en el seu funcionament que el desgast dels pneumàtics. En una cursa de 20 minuts, la variació de magnituds és molt petita, del mateix ordre que la tolerància de les bàscules emprades (+/- 1kg).

**2.3.10 Overall Dimensions**

**Maximum length of the vehicle: 2700 mm**

**Maximum width: 800 mm (2-wheeled vehicles)**

Aquestes mides són el marc màxim de mida. Sempre es pot reduir el model circulant. Per ara no hi ha hagut cap violació a aquesta norma. La maniobrabilitat i aerodinàmica tampoc es veurien gaire afavorides per una possible infracció.

**2.3.11 Materials**

**The use of light alloys for wheel and swing-arm spindles is forbidden. The use of titanium alloy nuts and bolts is allowed.**

El xassís pot resultar extremadament car com més exòtics siguin els materials dels que s'elabora. Per tant, es restringeix l'ús d'aquests materials als elements de sol·licitacions mecàniques més estrictes, mantenint així uns costos continguts.

**2.3.12 Chassis Number**

**A label must permanently display the name of the manufacturer, the model of the vehicle and its chassis number. A unique number must be embossed visibly on an easily accessible part of**

**the chassis. Additionally, a label made from durable material must be affixed in an easily accessible and visible location.**

L'objectiu és evitar la substitució de cap element estructural per complet. El punt crític és la tija de direcció o "pipa", que ha de restar sempre en el mateix estat que s'ha concebut i sense modificacions, cops ni esquerdes.

### 2.3.13 Instrument Panel

**Values of motor and battery temperatures must be displayed and be visible to the rider.**

Els principals problemes que poden presentar els components elèctrics tenen el seu origen i principal símptoma en les variacions tèrmiques. En el cas de les bateries, la cinètica química portada al límit força la generació de calor i a dins d'un motor l'efecte joule acaba amb el mateix fenomen. De totes les magnituds proposades, es força mostrar al pilot les més senzilles. Les bateries de liti-polímer treballen bé fins als 60°C, mentre que els motors varien des dels 80° fins als 200°C, depenent de la tecnologia emprada.

## 2.4 ELECTRICAL EQUIPMENT

### 2.4.1 IEC Publications

**If no specific rule exists in these Technical Rules, the relevant IEC Standard (International Electro-technical Commission Standard) or Report has to be observed: (Note: IEC Publications may be replaced by ISO publications, in the future.)**

- IEC 60529: Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
- IEC 60783: Wiring and connectors for the road vehicles. This report is applicable to cabling and connectors used in battery electric road vehicles.
- IEC 60784: Instruments for electric road vehicles. This report is applicable to the instrumentation of electric road vehicles, excluding those items which are used as instrumentation in vehicles with internal combustion engines.
- IEC 60785: Rotating machines for electric road vehicles. This report is applicable to rotating electrical machines [traction motors and auxiliary motors] of electric road vehicles including hybrids, which are fed from the main traction batteries).
- IEC 60786: Controllers for electric road vehicles. This report is applicable to the equipment on electric vehicles that control the rate of energy transfer between the traction battery or batteries and the motor or motors).

Aquesta normativa de l'IEC data dels anys 70. Per ara, hi ha un gran buit a nivell d'homologacions i els que estan creant la normativa del ram de l'automoció mai han treballat en tensions superiors als 12 o 24 volts. Per tant, a part d'aplicar els IEC mencionats, segueixo en gran part el REBT aplicable al territori espanyol.

Les proteccions i accionaments que s'empren són verificats per mitjà de la seva fitxa tècnica d'homologació, especialment pel que fa a tensions de tall, corrent nominal i màxim corrent interrompible. Igualment s'informa als participants de la quantitat de cicles que pot suportar tal mecanisme.

Actualment la FIM és la única entitat a implementar la normativa IEC referent a vehicles elèctrics. APPLUS i la resta d'organismes d'homologació, fan servir de forma perillosa els reglaments industrials (IEC 60034-X) aplicats a vehicles amb un gran desconeixement de la matèria, pel que comporta un desplegament de vehicles amb poques garanties. A més, les entitats certificadores no disposen d'assajos propis, ni coneixements de cap mena en la matèria, fet pel que va molt bé tenir vincle amb la UPC i l'equip del Dr. Bosch.

### 2.4.2 Energy accumulator

**The type, number and weight of all accumulator/s cannot be changed during the race, including the exchange of accumulators.**

**IMPORTANT: As a condition of entry, a Material Safety Data Sheet (an MSDS) for the accumulator, including all relevant details as to the energy accumulator chemistry, human and environmental hazards, handling and specific fire risks and precautions, must be supplied with the race entry of the machine, at the Technical Inspection.**

Per tal de poder avisar sobre quins son els protocols d'acció i desconnexió, preguntem als equips quin és el tipus d'intervenció que recomanen en cas d'accident, amb la tecnologia que munten a la seva màquina. Qualsevol punt que s'amagui o ocultí en aquest sentit serà motiu d'exclusió ja que presentaria un risc mortal envers els comissaris de pista, els espectadors o el mateix pilot. La seguretat és la prioritat que s'acorda per tal de desenvolupar aquest nou segment de curses en pista.

#### **2.4.3 Energy recovery**

**Recovering energy generated by the kinetic energy of the vehicle is permitted.**

#### **2.4.5 Propulsion system failure**

**The vehicle shall be able to freewheel in case the propulsion system has failed (i.e. stored energy exhausted or system failure leading to blocking the wheel).**

Per tal de millorar l'autonomia dels vehicles participants, es permet la frenada regenerativa (KERS) i el mecanisme adient que alliberi la roda posterior en cas de fallada mecànica o de "push n'glide".

#### **2.4.6 Electrical safety**

**The maximum allowed voltage in the main power bus is 600VDC or 440VAC. A secondary power bus may be used to supply energy to the critical systems at a maximum voltage of 50VDC or 30VAC. All parts of the electrical equipment must be protected to at least the equivalent of IP44 type protection. Exposed connectors must be properly insulated and protected against abrasion in case of accident.**

**Frame and all other common chassis components must be electrically connected. Plus and minus wires must be insulated from the nominal battery voltage at least, with respect to the chassis.**

Actualment les motocicletes munten un bus de potència (100-400VDC, 30-120kW) i un bus de tensió regulada (12VDC, 100-750W) alimentat per un buck DC/DC o per una bateria independent i un buck DC/DC. La part que alimenta els elements de control és prioritària sobre qualsevol altre aspecte i per tant, cal mantenir electrificada bo i quan la part del circuit de potència estigui fallant. En un futur, potser el bus auxiliar serà a 24V per reduir els corrents, com es fa en vehicles industrials.

**Symbols warning of 'High Voltage' must be displayed on or near the electrical equipment protective covers; all symbols must comprise a black flash of lightning inside a yellow triangle with a black border.**

**The sides of the triangle must measure at least 12 cm, but may be larger if practical.**



Figura 15-2 Senyalització de perill elèctric

En el cas de manipular qualsevol element electrificat que pot estar potencialment activat, és necessari el marcatge per tal de prevenir qualsevol intervenció per mans no expertes.

#### 2.4.7 General circuit breaker – 'Emergency Stop'

**Two emergency stop switches (circuit breakers) are required as a stop has to be easily accessible both to the rider and to marshals. When seated in a normal riding position, the rider must be capable of interrupting all electrical transmission between the accumulators and the energy consumers by means of a spark-proof general circuit breaker situated in front of him. This breaker must be located in such a way that it can be also operated from outside the vehicle. This breaker must be clearly identified as such. The use of a lanyard attached to the rider to operate this breaker as an alternative to a button is permitted.**

El circuit elèctric ha de poder ser interromput fàcilment pel pilot i pels comissaris de pista, siguin les circumstàncies que siguin de la motocicleta, impactes potencials o posició relativa al terra.

**The general circuit must also include a second general circuit breaker which shall be located behind the rider, positioned and easily recognised taking into account that the vehicle may be on one side following an incident. This circuit breaker must be operated by a red button and identified with a yellow disc (minimum 8 cm in diameter) reading 'Emergency' in red or black letters.**

El circuit de potència ha de disposar d'un interruptor d'emergència secundari a la part posterior de la motocicleta. L'ús incorrecte per part de pilots rivals serà durament sancionat.

**The options suggested below are acceptable, as are other solutions that meet the stated requirements. Teams will be required to demonstrate the operation of the Emergency Stops during technical inspection.**

- 1. A low voltage switch (e.g. push button) as a control for a contactor relay in which the contactor can be mounted down near the motor and keep the power voltages and currents away from the rider and top side of the vehicle.**
- 2. A relay with an integrated "breaker" switch, which requires running the full battery voltage to wherever this breaker is mounted.**

Normalment la primera opció és la més recomanable, on la bobina principal del relè es troba comandada per la bateria i sistema d'auxiliars a 12V. Permet tenir una tensió baixa durant un temps prudent que activi la seqüència de desconnexió òptima, descarregant tots els circuits i condensadors fins als límits recomanables per a la manipulació humana.

**Operation of the general circuit breaker must also isolate any precharge resistors, if installed.**

**In order to prevent contact melting of the general circuit breaker its ampere square seconds characteristics, representing heat energy dissipated on the breaker contacts during switching, must be sufficient to guarantee proper operation of the circuit breaker, even under surge current conditions, in particular those occurring during the connection of the accumulator to the power plug.**

**Low voltage circuits, e.g. auxiliary circuits, do not have to be isolated by the general circuit breaker – Emergency Stop provided that they are completely isolated from the main power accumulators.**

Els sistemes de “soft start” o de càrrega de condensadors limitada per resistències, poden ajudar a descarregar-los en les aturades d'emergència. Aquesta seqüència ha de funcionar sempre i sota qualsevol circumstància.

#### **2.4.8 Power Indicator**

**When the vehicle is in a *power on* state, there must be two clearly visible indicators, one light on the instrument panel and one light on the rear of the vehicle.**

**The rear light must be red and visible from at least 10m away, from the side or rear, and must flash between 1 – 2 times / second on a 50% duty cycle.**

Per tal de poder identificar l'estat de marxa o aturada del vehicle és obligatori instal·lar quelcom que permeti una actuació ràpida dels comissaris de pista. Una motocicleta elèctrica no genera cap soroll quan està a punt de marxa. Un cop funcionant en pista, es genera suficient soroll aerodinàmic i de fricció.

#### **2.4.9 Fuses (over-current trip switches)**

**An over-current trip is a device which automatically interrupts the electrical current in which it is installed if the level of this current exceeds a defined limit value for a specific period of time. Electronic programmable circuit breakers are allowed. Fuses and circuit breakers (but never the motor circuit breaker) count as over current trips. Extra fast electronic circuit fuses and fast fuses are appropriate. The fuses must be in an easily accessible location and as close as possible to the accumulator at both polarities.**

Per tal de garantir la integritat del sistema, cal protegir la bateria i la resta de components de les sobreintensitats. Mantenint els límits que marca cada element en I2T per tal que la fallada elèctrica sigui segura és un exercici complicat de disseny, però que és molt discutit durant la inspecció tècnica.

**All electrical cables inside the motorcycle must be protected by means of over currents trips rated according to the diameter of the individual conductors. Over-current trips must under no circumstances replace the general circuit breaker (Emergency Stop Button).**

Igualment que per als elements, tots els conductors han de poder aguantar la sobrecàrrega i el curtcircuit en I2T per tal que falli el fusible o protecció abans que el conductor.

#### **2.4.10 General electric safety**

**It must be ensured that the components used cannot cause injury under any circumstances, either during normal operation or in foreseeable cases of malfunction. It must be ensured that the components used for protecting sor objects can reliably fulfil their function for an appropriate length of time.**

Cal evitar el contacte directe amb doble aïllament a la part de potència i amb aïllaments i distàncies suficients en la part d'auxiliars.

#### **2.4.11 Insulation resistance**

**Every part of the electrical equipment must be insulated between all live components and system ground.**

Per qüestions de funcionament, s'han d'evitar tots els potencials flotants que hi puguin haver en el vehicle. L'electrònica de control és especialment sensible a les fuites i als potencials de terra i les seves fluctuacions magnificades per les capacitats paràsites. Els pneumàtics són rics en carbó, que ajuda a tenir una bona posta a terra.

#### **2.4.12 Dielectric strength**

**Wiring insulators can be required to be checked at any time by the FIM Technical Director. Double insulation will be required in high voltage or high current wires. Technical datasheets of the wires used will prevail under all circumstances.**

**All electric live parts must be protected against accidental contact. Insulating material not having sufficient mechanical resistance, i.e. paint coating, enamel, oxides, fibre coatings (soaked or not) or insulating tapes are not accepted.**

A les curses convencionals hi ha un abús de la cinta americana i cinta aïllant. Si bé això és suficient per a baixes tensions de seguretat, en busos de tensió de centenars de volts i altes temperatures pot ser causa de fallades serioses. A cop d'ull s'examina que tots els conductors estiguin connectats apropiadament i que els aïllants es presentin en bones condicions.

#### **2.4.13 Capacitors**

**Voltage across capacitors belonging to the power circuit should fall below 65 volts within 5 seconds after the general circuit breaker is opened or the over current trips of the accumulator are blown.**

A partir de 5 segons es podria començar a manipular de forma segura qualsevol vehicle accidentat. De totes maneres, es discuteix sobre la possibilitat d'equipar els comissaris de pista de guants aïllants i botes de seguretat.

#### **2.4.14 Accumulator fastening**

**The accumulator must be installed securely inside the vehicle and be protected against short-circuits and leakage. The accumulator must be attached to the frame or chassis using metal clamps with an insulating covering.**

**The fixing method must be designed in such a way that neither the accumulator nor the fastening device itself nor its anchorage points can come loose, even when subjected to a crash. A solid partitioning bulkhead must separate the location of accumulator from the rider. Each accumulator box must provide its own cooling and/or venting system.**

Cal garantir un muntatge fix de les bateries al xassis de la motocicleta. El risc més gran que presenten és el manteniment de les capacitats elèctriques (aïllament, integritat) i en cas de fallida cal evitar les explosions (recintes tancats hermèticament), proporcionant camins alternatius on els vapors es puguin escapar de forma segura.

### **2.11 PROTECTIVE CLOTHING AND HELMETS**

**2.11.1 Riders shall wear a complete leather suit with additional leather padding or other protection on the principal contact points, knees, elbows, shoulders, hips etc.**

La indumentària dels pilots ha d'estar íntegra i en bon estat. Es rebutjaran equipaments amb estripades, pedaços mal cosits, mancats de reforços o de pell resseca. Els vestits han de ser d'una sola peça, amb cremalleres en bon estat, transpirables, amb reforços a genolls, espatlles i colzes. També poden ser muntades opcionalment proteccions dorsals i lumbars o proteccions de fèmur, tibia i radi.

**2.11.2 Linings or undergarments shall not be made of a synthetic material which might melt and cause damage to the riders' skin.**



S'ha registrat accidents on la fusió de la roba interior sintètica ha causat danys més severos que la roba natural o la roba termoestable. Les cremades acaben allargant els períodes de recuperació i els teixits queden afectats d'hipersensibilitat.

**2.11.3 Riders shall also wear leather gloves and boots, which with the suit provide complete coverage from the neck down.**

**2.11.4 Leather substitute materials may be used, providing they have been checked by the Chief Technical Steward.**

**2.11.5 Use of a back protector is highly recommended.**

Per tal de mantenir la integritat de l'equipament, cal que tota la "segona pell" del pilot estigui en bon estat i d'un material uniforme. Els ítems relacionats amb la seguretat són prioritaris i suposen un informe negatiu a la direcció de cursa, recomanant la no sortida del pilot en qüestió.

**2.11.6 Riders shall wear a helmet which is in good condition, provides a good fit and is properly fastened.**

**2.11.7 Helmets shall be of the full face type and conform to one of the recognised international standards:**

- Europe ECE 22-05 'P'
- Japan JIS T 8133 : 2000 (until 31.12.2011)
- Japan JIS T 8133 : 2007
- USA M 2005 (until 31.12.2011)
- USA M 2010

**2.11.8 Visors shall be made of a shatterproof material.**

**2.11.9 Disposable "tear-offs" are permitted.**

El casc protegeix el cap i coll del pilot. Per tal de garantir la màxima seguretat, es verifica un per un i se'n comproven les homologacions amb la data que pertoqui. S'ha constatat que malgrat ser un ítem que té una alta importància per a la seguretat del pilot, alguns equips els porten a reparar i serigrafiar de nou. Un casc homologat nou costa uns 200€, i un serigrafiat 200€. Per tant no hi ha motiu per anar amb un casc reparat. Els de gamma més alta poden arribar a costar 1400€ i per tots, la garantia desapareix amb el serigrafiat o els adhesius.

**2.11.10 Any question concerning the suitability or condition of the riders clothing and/or helmet shall be decided by the Technical Director, who may, if he so wishes, consult with the manufacturers of the product before making a final decision.**

Qualsevol decisió tècnica serà avaluada pel director tècnic i contrastada amb altres experts del camp. Serà elevat al jurat de cursa un informe amb conclusions i recomanacions, que serà qui prendrà les decisions oportunes.

## **2.12 PROCEDURE OF TECHNICAL CONTROL**

**2.12.1 The rider is at all times responsible for his machine.**

El pilot és qui marca els punts de la cursa i, per tant, el qui rep les sancions que es derivin de la seva conducta respecte al reglament.

**2.12.2 The Chief Technical Steward shall be in attendance for an event at least 1 hour before the technical verifications are due to begin. He shall inform the Clerk of the Course, the Jury President and the FIM Technical Director of his arrival.**

Normalment es saluda a tothom abans de començar qualsevol dia, i mentre uns fan la inspecció de pista, posen a punt els cronometratges i les comunicacions, els altres verifiquen les màquines.

**2.12.3 He shall ensure that all Technical Stewards, appointed for the event, carry out their duties in a proper manner.**

Cal informar als pilots, comissaris de pista i comissaris tècnics sobre els procediments d'accés a pista, sortida i què es farà en les circumstàncies que descriu el reglament esportiu (banderes, aturades, sancions).

**2.12.4 He shall appoint the Technical Stewards to individual posts for the race, practices and final control.**

Sol haver-hi un petit equip de 10-15 persones que verifiquen les 120 motos que competiran en un cap de setmana. Sovint cal revisar 2 motos per equip i hi ha reentrades per incidents. A qualsevol moment es pot donar un control i cal tenir la capacitat de poder fer una revisió en el termini més curt possible.

**2.12.5 One rider, or his mechanic, shall be present with the machine for Technical control within the time limits stated in the Supplementary Regulations. The maximum number of persons present at the technical verification will be the rider, plus two others. In addition, the Team Manager will also be allowed.**

Els comissaris tècnics manipularan la màquina el mínim possible. Per això, un membre de l'equip serà el responsable de mantenir la motocicleta sempre en peu i muntar/desmuntar els components que siguin requerits. Per tal de millorar la comunicació, el cap de l'equip pot també ser-hi present i fer les aportacions que li siguin requerides.

**2.12.6 The FIM Technical Director/Chief Technical Steward shall inform the International Jury of the results of the Technical control. The FIM Technical Director/Chief Technical Steward will then draw up a list of accepted machines and submit this list to the Clerk of the Course.**

El director tècnic és el verificador i no té cap capacitat sancionadora. Per qualsevol consulta tècnica, serà el referent que arbitri qualsevol disputa i la seva decisió serà final pel que n'informarà el delegat de cursa i el jurat.

**2.12.7 The FIM Technical Director/Chief Technical Steward has the right to inspect any part of the machine at any time of the event.**

L'equip tècnic estarà sempre capacitat i amb efectius per a poder cobrir una eventual inspecció. Totes les conformitats i qualsevol irregularitat trobada serà reportada al jurat.

**2.12.8 Any rider failing to report as required below may be disqualified from the event. The International Jury may forbid, any team who does not comply with the rules, or any rider who can be a danger to other participants or to spectators, to take part in the practice sessions or in the races.**

Els informes del director tècnic seran considerats en el procés de decisió. Cap sanció es fa de manera automàtica i, normalment, es crida el responsable de l'equip abans d'aplicar sancions greus com l'anul·lació de temps o exclusió.

**2.12.9 The Technical control shall be carried out in accordance with the procedure and times fixed in the Supplementary Regulations of the event.**

La puntualitat i la disciplina han d'estar per davant de tot. En haver-hi un gran nombre d'efectius a coordinar i màquines a inspeccionar, ens hem de cenyir el màxim possible a l'agenda programada. Només en casos de pluja o circumstàncies excepcionals (on, per exemple hi hagi cues a

l'aire lliure es permeten decalatges respecte l'agenda i es canvien les agendas d'inspecció per dorsal). Les màquines pendents seran les darreres a ser inspeccionades i fins no haver estat validades no podran accedir a pista.

**2.12.10 The FIM Technical Director/Chief Technical Steward will refuse any machine that does not have a correctly-positioned positive transponder attachment. The transponder shall be fixed to the machine in the position and orientation as shown in the Timekeeping information given to teams pre-season and available at each event. Positive attachment of the transponder bracket consists of a minimum of tie-wraps, but preferably by screw or rivet. Velcro or adhesive alone will not be accepted. The transponder retaining clip shall also be secured by a tie-wrap.**

Procurem tenir el transponder de cronometratge posicionat el més lluny possible de fonts de radiació. Per això proposem als equips d'emplaçar els emissors a prop de la pipa o dins de la direcció de la motocicleta. Quan arribin els KERS ja veurem si els hem de posar més a prop de l'eix posterior.

**2.12.11 The rider or mechanic shall present a clean machine and in conformity to the FIM rules. He shall also present a duly filled in and confirmed technical card.**

Presentar una màquina neta, ajuda a trobar possibles fuites d'oli/aigua i veure que els precintes estan correctament fixats.

**2.12.12 An overall inspection of the machine shall be carried out in conformity with the FIM rules. Accepted machines will be marked with paint or a sticker.**

**2.12.13 FIM Technical Director/Chief Technical Steward has the final authority in case of a dispute on the conformity of the parts in question and for acceptance.**

El marcatge es fa per evitar substitucions de peces crítiques. A les e-Power no hi ha opcions ni necessitat de canviar motor durant les pràctiques, ja que les restriccions que hi ha en altres categories no són aplicables directament. Quan un equip crema un component, torna a passar el control tècnic.

**2.12.14 Before each practice the Technical Steward shall confirm that the machine has passed the Technical control by checking the Technical control sticker before the machines go on the track.**

**2.12.15 Only accepted machines may be used in practices and races.**

**2.12.16 Approximately 30 minutes after the Technical control have been completed, the FIM Technical Director/Chief Technical Steward shall submit to the International Jury list of accepted machines and riders.**

Per motius de temps, és complicat poder verificar totes les màquines entrant a pista. Es verifica la llista de dorsals i es mira quins han accedit a pista.

**2.12.17 If a machine is involved in an accident, the FIM Technical Director/ Chief Technical Steward shall check the machine, together with the helmet and clothing of the rider involved, to ensure that no defect of a serious nature has occurred.**

**If a machine was stopped with a black flag with orange disc, the FIM Technical Director/ Chief Technical Steward shall check the machine.**

**In both cases, it is the responsibility of the team to present the machine (together with helmet and clothing of the fallen rider) for this re-examination in case they wish to continue. If the helmet is defective, the Chief Technical Steward shall retain this helmet. The organiser shall send this helmet, together with the accident and medical report (and pictures and video, if available) to the Federation of the rider. If there are head injuries stated in the medical report, the helmet then shall be sent to a neutral institute for examination.**

Tenim afortunadament molt pocs incidents registrats, i respecte la revisió de casc i la motocicleta estem revisant els protocols. El coneixement dels comissaris sobre la màquina i indumentària inspeccionada són necessaris, però no suficients per garantir al 100% la seguretat en cursa.

### **2.13 VERIFICATION GUIDELINES FOR TECHNICAL STEWARDS**

- **Make sure all necessary measures and administrative equipment are in place at least 1 hour before the Technical control (see separate list) is due to open (time in Supplementary Regulations).**
- **Decide who is doing what and note decisions. "Efficiency" shall be the watchword. Always keep cheerful and remember the reasons for Technical controls: SAFETY AND FAIRNESS.**
- **Be well informed. Make sure your FMN has supplied you with all technical "updates" that may have been issued subsequent to the printing of the Technical Rule Books. Copies of all homologation documents shall be in your possession.**
- **Inspection shall take place under cover with a large enough area (min. surface 100 sq. metres) to handle the technical verifications in two lines.**
- **Weighing apparatus shall be accurate and practical. Certified master weights and their certificate shall be available for verifying.**
- **Rules regarding sound level and measurement shall be respected.**

Es deriven de l'experiència d'altres campionats de la FIM, com resistència, sidecar o motoGP.

#### **2.13.1 Preparations, procedures**

**At each circuit, an area shall be designated as the Technical control Area.**

- **In this area, under the control of the FIM Technical Director/ Chief Technical Steward, suitable equipment will be available to conduct proper inspections.**
- **The Technical control will be carried out in accordance with the schedule set out in the Supplementary Regulations.**
- **Technical Stewards shall be available throughout the entire event to check motorcycles and equipment as required by the FIM Technical Director/Chief Technical Steward.**
- **Presentation of a machine will be deemed as an implicit statement of conformity with the technical regulations.**
- **The Technical Stewards shall inspect the motorcycles for obvious safety omissions.**
- **The Technical Stewards shall inspect that the motorcycle conforms to all technical rules laid out in the Regulations.**

La prioritat és a les no conformitats de seguretat i després a les altres disconformitats al reglament. S'informa sempre al cap d'equip i al jurat de les incidències trobades.

#### **1) All classes**

- **All machines will be required for weight and/or sound check at the pre-race technical inspection.**
- **The scales and sound meter will be available to the teams or riders for pre-race checking in the technical control area.**
- **Sound test should take place in a clear area adjacent to the Technical control at least 5 metres from any possible sound reflecting obstruction.**
- **The riders shall be aware that the weight and sound may be controlled at random during practice in the pitlane and at the end of the race.**
- **Claiming that the sound and weight were not officially controlled before the race will not be grounds for appeal. Conformity of the rules is the responsibility of the rider.**
- **The FIM Technical Director/ Chief Technical Steward reserves the right to spot check the weight and sound of any machines on pit row during free practice and official practice. This can occur at any time during the free practice and in the first ten minutes of any official (timed) practice and will be carried out with the least possible inconvenience to the rider.**

- **Machines arriving later than the first free practice shall be controlled in the technical control area.**
- **At the conclusion of the inspections, a small sticker or coloured mark will be placed on the frame indicating that the machine had passed inspection**
- **The Technical Stewards shall re-inspect any machine that has been involved in an accident.**
- **The Technical Stewards shall be available, based on instructions from the FIM Technical Director/ Chief Technical Steward, to re-inspect any motorcycle for technical compliance during the event.**
- **During the technical inspection in the closed park the mechanics shall assist with the inspections. A maximum of four (4) team members per rider is allowed in the closed park during the post-race technical inspection. Downloading of data is allowed in the closed park.**
- **Representatives of the tyre manufacturers are allowed in the closed park.**

Aquest és el mateix protocol que per a qualsevol de les altres classes de la FIM – CCR.

## **2) Practice**

### **• Dry Practice :**

**Every machine used in free or official practice may be checked.**

**The minimum checks are weight and sound. The FIM Technical Director/Chief Technical Steward may request other checks.**

### **• Wet practice :**

**The FIM Technical Director/Chief Technical Steward may perform certain checks during/after a wet practice.**

Aquest és el mateix protocol que per a qualsevol de les altres classes de la FIM – CCR.

## **3) Final inspection at the end of the race:**

**Machines may be checked at least for the following compliance points:**

**– Weight : The weight will be checked in the condition that the machine has finished the race. No elements can be added to the machine, neither fuel, oil, water nor tyres.**

**– Sound : compliance with minimum sound limit**

**The FIM Technical Director/Chief Technical Steward may require a team to provide parts or samples, as he may deem necessary to confirm compliance with the rules.**

Aviat el so serà modulad per tal de proporcionar informació característica sobre la moto que circula via un altaveu. De totes maneres, s'exigeix un clàxon per tal de poder alertar la gent que circula per paddock i pit lane sense mirar.

## **4) Appointment and attendance**

**The Technical Stewards shall be present and available during the opening hours of the Technical control area.**

**The FIM Technical Director/Chief Technical Steward will instruct the Technical Stewards to verify motorcycles for compliance with technical and safety rules.**

Abans de començar les inspeccions ben d'hora al matí, ens presentem coneixem tots plegats, saludem, parlem una estona i preparem el pla d'acció del dia. A l'hora de dinar dinem junts si és possible i parlem de motos, de les incidències i de com s'ha de fer millor el proper cop.

## **5) Administrative and Technical Control for all Teams**

**Technical Inspection (opening day)**

**• Administrative tasks - min. 1**

**• Machine safety inspections - min. 2 (Electric + mechanical)**

**• Protective clothing and helmets - min. 1 NO SOUND CONTROL**

El control sonor ha estat motiu de discussió. Per ara no cal afegir so, però les marques voldran caracteritzar les màquines amb un so diferencial en els propers anys.

**Technical Control on practice day(s):**

**Before and during Free practice and Qualifying sessions**

- **Machine safety inspections min. 3 and Helmets**

**After the last qualifying session**

- **Sound and weight**

**Inspection of crashed machines - min. 1**

- **Administration tasks - min. 1**

**Technical Control on Race day**

- **Before the race: safety checks on start grid: as required**
- **Post race checks: sound and weight: (sound = if required) min. 3 s**
- **Administrative tasks : min. 1**

**NOTE: This listing shows the minimum number required of Technical Stewards. The total number may, of course, be higher.**

**All final verification points to be decided in co-operation with the International Jury President and the FIM Technical Director/Chief Technical Steward. Post-race checks are under extreme pressure. It is important to be very well organised.**

**The Chief Technical Steward must report to the Jury after the final verifications.**

La clau per a l'eficiència és ser ben ordenats i disciplinats. Qualsevol error, de comunicació o puntualitat, causa un petit caos que cal evitar d'arrel. Puntualitat i tranquil·litat són la clau per una jornada de curses perfecta.

**6) Minimum Equipment – to be available at the event**

- **Revolution meter (rpm)**
- **Sound meter and calibrator + batteries**
- **Slide caliper**
- **Depth gauge**
- **Steel measuring tape**
- **Seals**
- **Colour for marking parts**
- **Magnet for materials testing**

**7) Required Documentation**

- **Regulations of the current year**
- **Supplementary Regulations**
- **Homologation documents**
- **CD-Rom with homologations**
- **Technical control forms**
- **Writing materials**

A més, es disposa d'un oscil·loscopi, voltímetre, amperímetre per sonda d'efecte Hall i una càmera tèrmica per tal de detectar problemes amb les motos elèctriques de forma ràpida. Igualment es poden fer anàlisi de distorsions harmòniques durant la recàrrega de les bateries. Es recomana desconnectar qualsevol altre consum durant la recàrrega (cuina, estufes, etc).

**2.14 SOUND LIMITS**

**The motorcycle must be equipped with an audible horn (min. 80 dB/A) used at the rider's discretion.**

In case of doubt, the sound level shall be measured with the sound meter positioned at a distance of 2 metres, in the axis of the motorcycle, measured from the tip and the height of the streamlining. Sound will be controlled at the discretion of the Technical Director.

2.14.1 Apparatus for sound control shall be to international standard IEC 651, Type 1 or Type 2.

2.14.2 The sound level meter shall be equipped with a calibrator for control and adjustment of the meter during periods of use.

2.14.3 The "slow response" setting shall always be used.

## 2.15 GUIDELINES FOR USE OF SOUND LEVEL METERS

2.15.1 The Sound Control Officer (NCO) shall arrive in sufficient time for discussions with the Technical Director and other Technical Stewards in order that a suitable test site and testing policy can be agreed.

2.15.2 Sound level measuring equipment shall include a compatible calibrator, which shall be used immediately before testing begins and always just prior to a re-test if a disciplinary sanction may be imposed.

Two sets of equipment shall be available in case of failure of tachometer, sound level meter or calibrator during technical control. Spare batteries must be part of the set.

2.15.3 Before testing, the NCO should if possible liaise with a maximum of two holders of FIM Sponsor's or Manufacturer's licences, or team managers, who have sound test equipment including calibrators, in order to agree the accuracy of the official sound level meter.

2.15.4 Tests should not take place in rain or excessively damp conditions. Machines considered excessively noisy shall be individually tested if conditions allow.

2.15.5 In other than moderate wind, machines should face forward in the wind direction. (Mechanical sound will blow forward, away from microphone).

2.15.6 'Slow' meter response shall be used.

2.15.7 'A' weighted setting on sound level meter.

2.15.8 Always round down meter reading, that is: 107.9 dB/A = 107 dB/A.

### 2.15.9 Température ambiante

Inférieure à 10° Celsius: aucunes déductions

Inférieure à 0° Celsius: au-dessous de la température zéro les performances de la vie des batteries seront affectées.

### 2.15.10 Précision de la méthode (les tolérances)

Toutes les tolérances sont cumulatives. La procédure et des décisions prises lors des discussions préalables avec le Directeur Technique FIM/ Chef Commissaire Technique.

Tot això és vàlid per a poder verificar el clàxon, si s'escau. Normalment es fixen límits superiors per a totes les altres categories de motocicletes. A les elèctriques no els hi cal límit superior.

## NUMBERS/NUMEROS

For more details consult the F.I.M. Technical Rulebook

(USA) M2005 (Label affixed inside the helmet).

## ECE 22 - 05 "P" (EUROPE)

The ECE mark consists of a circle surrounding the letter E followed by the distinguishing number of the country which has granted approval.

E1 for Germany, E2 for France, E3 for Italy, E4 for Netherlands, E5 for Sweden, E6 for Belgium, E7 for Hungary, E8 for Czeck Republic, E9 for Spain, E10 for Yugoslavia, E11 for UK, E12 for Austria, E13 for Luxembourg, E14 for Switzerland, E15 (- vacant), E16 for Norway, E17 for Finland, E18 for Denmark, E19 for Roumania, E20 for Poland, E21 for Portugal, E22 for the Russian Federation, E23 for Greece, E24 for Ireland, E25 for Croatia, E26 for Slovenia, E27 for Slovakia, E28 for Bielo Russia, E29 for Estonia, E30 (- vacant), E31 for Bosnia and

Herzegovina, E32 for Letonie, E34 for Bulgaria, E37 for Turkey, E40 for Macedonia, E43 for Japan, E44 (- vacant), E45 for Australia, E46 for Ukraine, E47 for South Africa, E48 New Zealand.

Below the letter E, the approval number should always begin with 05. Below the approval number is the serial production number. (Label on retention system or comfort interior).

### **INTERNATIONAL HELMETS STANDARDS/ NORMES INTERNATIONALES DES CASQUES**

**(JAPAN) JIS T 8133 : 2000 (Label affixed inside the helmet). 051039**

Aquests són els estàndards actuals pel que refereix a homologació dels cascos. Cap tolerància és permesa a cascos no homologats.

#### **3. DISCIPLINARY AND ARBITRATION CODE**

The regulations will be defined by the "FIM DISCIPLINARY AND ARBITRATION CODE".

#### **4. CIRCUIT STANDARDS**

Circuit standards will be defined by the "FIM STANDARDS FOR ROAD RACING CIRCUITS" (SRRC).

#### **5. MEDICAL CODE**

The regulations will be defined by the "FIM MEDICAL CODE".

#### **6. ANTI-DOPING CODE**

The regulations will be defined by the "FIM ANTI-DOPING CODE".

#### **7. ENVIRONMENTAL CODE**

The regulations will be defined by the "FIM ENVIRONMENTAL CODE".

Referències als codis de les altres comissions de la FIM.



## 16 ANNEX F: ESTRUCTURA DELS CURSOS

---

El nou paradigma energètic ha fet necessari desenvolupar una estructura per a cursos de formació en vehicles híbrids i elèctrics. Concretament a la UPC, i sota la supervisió del Dr. Ricard Bosch, s'ha adaptat l'assignatura ALE Vehicles Elèctrics i híbrids de l'ETSEIB.

Així doncs, s'ha donat un canvi a l'estructura i continguts de l'assignatura, passant del focus "vehicle solar" al focus "màquina elèctrica". Els ítems dels que consta el curs són:

1. Introducció
2. Historia
3. Tipus de vehicles (passats, presents, prototips)
4. Tipologia de carregues
5. Cicles de conducció
6. Cadena energètica
7. Motors tèrmics Comparativa
8. Dinàmica de vehicle
9. Vehicle solar
10. Vehicle Eco Marathon
11. Moto elèctrica
12. Seguretat mecànica
13. Bateries
14. Piles de combustible
15. Condensadors
16. Generadors
17. Range-extenders
18. Sistemes d'alimentació
19. Controladors
20. Motors DC, escombretes, PM
21. Motors AC, inducció, PM, excitació, reluctància
22. Frenada regenerativa
23. Cablejat
24. Harmònics, filtratge
25. Refrigeració
26. Seguretat elèctrica
27. Retrofit
28. Auditoria energètica
29. Fonts d'energia
30. Cost d'energia i tarificació
31. Arc elèctric
32. Selectivitat
33. V2G
34. Assajos i validació: curtcircuit, buit i nominal

Que es donen en 9 sessions més 2 sessions de validació o visites sobre el terreny. La posta al dia pot ser molt més progressiva i modular, i s'ha complementat amb vídeos i pràctiques il·lustratives als assajos d'alta tensió/alts corrents, a més de la desexcitació dels generadors i als vehicles híbrids de l'escola.

Per a altres cursos de màster i postgrau, el temari se centra en objectius més operatius:

- Criteris de selecció de motors elèctrics
- Anàlisi de requeriments
- Selecció de bateries
- Sistemes de seguretat activa
- Dimensionament de proteccions
- Regulació i control
- Muntatge i verificació
- Modes de fallada segura

Que són molt més pràctics i permeten una millor entesa amb els alumnes, que molt sovint tenen problemes professionals per assolir aquests nous canvis.

## 17 ANNEX G: FUTUR DE LA PROPULSIÓ

---

Malgrat que no sigui el més ortodox, després de 3 anys de recerca intensa en el camp de la mobilitat elèctrica, híbrida i sostenible, m'atreveixo a fer algunes previsions per al futur més immediat:

1. Els vehicles elèctrics deixaran de pertànyer al propietari al 100%: estaran en règims de Leasing, Rènting o de Lloguer.
2. Es catalogaran els punts de recàrrega per la seva utilitat en dues categories: útils i PRI (punts de recàrrega inútil). Mentre que els primers estaran sistemàticament ocupats, els segons estaran sempre buits.
3. Es descobrirà que el mal nombrat fenomen batejat com a *Range anxiety* és una farsa, pura mentida. Si el cotxe elèctric és urbà, no estarà fet com per fer BCN-Vigo cada 2 dies.
4. El VE del futur no té per què tenir 4 rodes. Potser en tindrà 8, 6, 3, 2, 1 o cap.

Podria semblar un acte més de sensació que cap altra cosa, però fins i tot m'atreveixo a posar-hi dates límit:

1. 2012. Renault ja ho fa amb la gamma ZE: Twizy, Kangoo i Fluence
2. 2015. El nom "PRI" va ser encunyat per l'enginyer Aleix Layola l'any 2010.
3. 2012. Segons els càlculs, cap vehicle de 500kg pot donar un confort suficient per llargs trajectes a més de complir tots els requeriments d'autonomia i seguretat NCAP.
4. 2011. Les plataformes més avançades es troben actualment rodant a les sèries FIM e-Power a 230km/h i navegant al port de Barcelona amb 150 turistes a bord, a més d'altres camps [P053].

Per concloure aquesta tesi, m'agradaria fer constar que només reduint la mida dels vehicles i la freqüència i distància dels nostres desplaçaments aconseguirem una reducció adient del consum energètic i una millora satisfactòria del medi ambient.

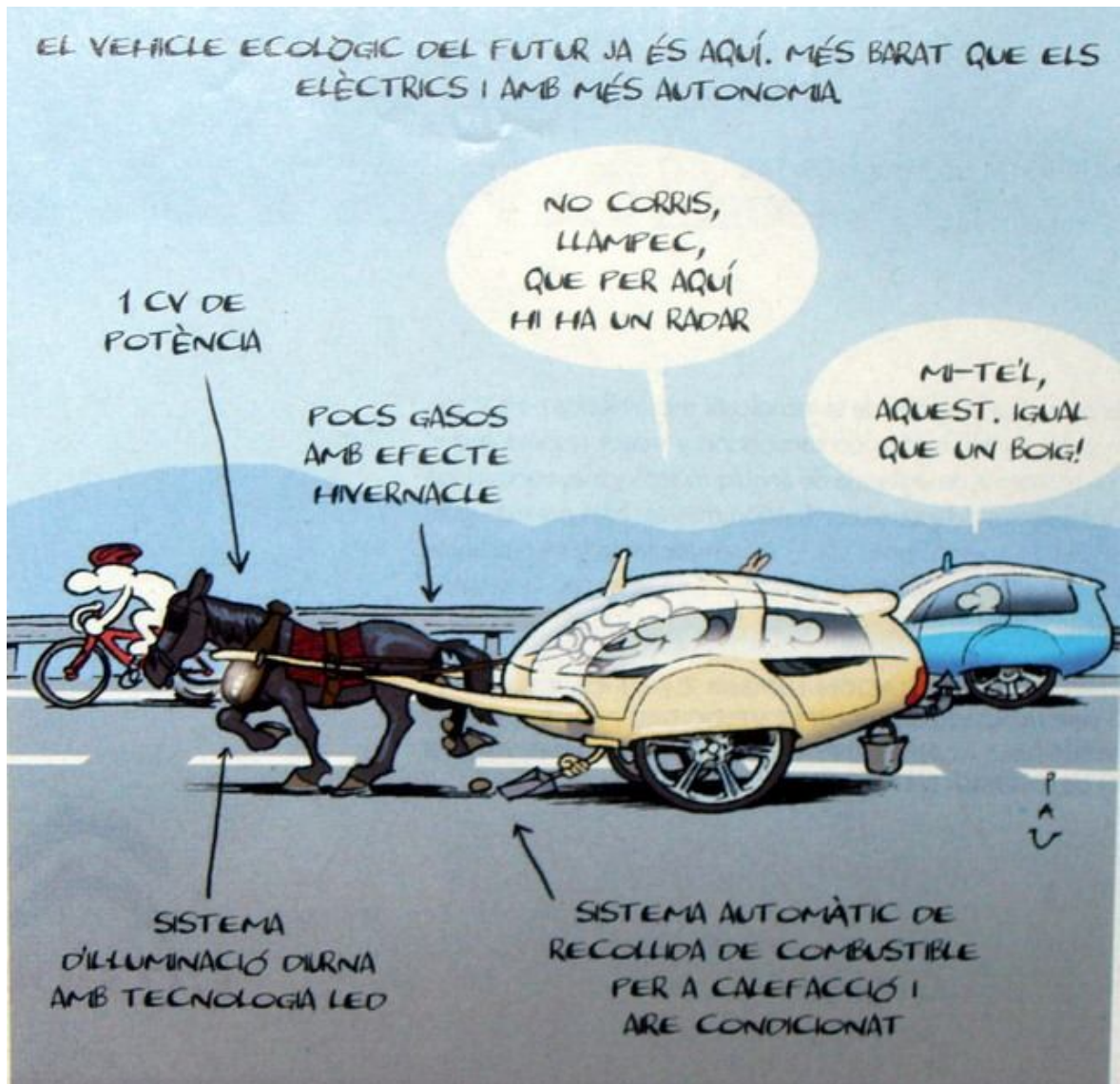


Figura 17-1: Vehicle ecològic del futur per Pau (RACC)

Està estudiat per moltes fonts que més d'un 50% del consum energètic és dedicat al transport, i per tant, caldrà revisar els nostres patrons de mobilitat a mig terme, sobretot aplicant polítiques fiscals contra l'abús de consum energètic. El vehicle elèctric, a l'igual que les renovables, no és una solució al problema, sinó una alternativa de menor impacte.

**La Terra no és una herència dels nostres pares,  
sinó un préstec dels nostres fills**