



Universitat de Lleida
Escola Politècnica Superior

Màster en Enginyeria Industrial

ESTUDI D'ALTERNATIVES EN EL SISTEMA DE TRACCIÓ ELÈCTRIC D'UNA PLATAFORMA AUTOMOTRIU

Autor: Xavier Gállego Reñé

Director/s: Eduard Gregorio López i Joan R. Rosell Polo

Setembre 2014



AGRAÏMENTS

Agraïixo al Ministerio de Ciencia e Innovación, ja que aquest Treball Final de Màster s'ha elaborat com una part de la investigació realitzada en el següent projecte:

- SAFESPRAY: *Estrategias para una utilización de fitosanitarios segura y eficaz. Pulverización de precisión y monitorización de la deriva en fruticultura.* Cód.: AGL2010-22304-C04-03.



AGL2010-22304-C04-03



FULL IDENTIFICATIU

- Títol del projecte: Estudi d'alternatives en el sistema de tracció elèctric d'una plataforma automotriu.

- Autor del projecte:
 - Nom: Xavier Gállego Reñé
 - DNI: 47696870-E
 - Adreça: C/ Raval 8 de Maig nº 103
 - Població: El Poal (Lleida)
 - Telèfon: 660 61 19 14
 - Correu electrònic: xgare@hotmail.com

- Tutors del projecte
 - Nom: Eduard Gregorio López
 - Ubicació: C. Pere de Cabrera s/n - Edifici CREA. Despatx 1.02
 - Telèfon: 973 00 35 71
 - Correu electrònic: egregorio@eagrof.udl.cat

 - Nom: Joan R. Rosell Polo
 - Ubicació: Av. Rovira Roure 191 - Campus ETSEA. Despatx 1.04.3
 - Telèfon: 973 70 28 61
 - Correu electrònic: JR.Rosell@eagrof.udl.cat



ÍNDEX GENERAL

Índex

1	PLANTEJAMENT DEL TREBALL	11
1.1	ANTECEDENTS	11
1.2	OBJECTIUS	12
1.3	ABAST DEL TREBALL	13
2	ELEMENTS PER LA REALITZACIÓ DEL SISTEMA	14
2.1	BATERIES	14
2.1.1	Tipus de bateries	20
2.2	CARREGADOR DE BATERIES	24
2.2.1	Aspectes importants	24
2.3	INVERSOR	25
2.3.1	Aspectes importants	27
2.4	VARIADOR DE FREQUÈNCIA	27
2.4.1	Conceptes bàsic de funcionament	28
2.4.2	Variador de freqüència instal·lat.....	29
2.5	MOTORS D'INDUCCIÓ	30
2.5.1	Tipus i conceptes bàsics de funcionament.....	30
2.5.2	Característica parell – velocitat.....	31
2.5.3	Motors instal·lats actualment	32
3	CARACTERITZACIÓ EXPERIMENTAL DE LA PLATAFORMA	33
3.1	OBJECTIUS	33
3.2	MATERIALS I MÈTODES	34
3.3	RESULTATS EXPERIMENTALS.....	39
3.4	RESULTATS ANALÍTICS.....	42
4	SISTEMA DE TRACCIÓ HÍBRID.....	46
4.1	ESTRUCTURA DEL SISTEMA	46
4.1.1	Càrrega de la bateria	46
4.1.2	Alimentació dels motors amb les bateries	47
4.2	CRITERIS I ELECCIÓ DE L'INVERSOR.....	48
4.2.1	Inversor escollit	50
4.3	CRITERIS I ELECCIÓ DE LA BATERIA	51
4.3.1	Elecció de la bateria	51



4.4	CRITERIS I ELECCIÓ DEL CARREGADOR.....	56
4.5	RESULTATS.....	57
5	SISTEMA DE TRACCIÓ ELÈCTRIC AC.....	59
5.1	CRITERIS I ELECCIÓ DE LA BATERIA	59
5.1.1	Autonomia.....	59
5.1.2	Elecció de la bateria	60
5.2	CRITERIS I ELECCIÓ DEL CARREGADOR.....	63
5.3	RESULTATS.....	63
6	ESTUDI DE L'ALIMENTACIÓ AMB UN SISTEMA FOTOVOLTAIC	65
6.1	RESULTATS.....	67
7	CONCLUSIONS	69
	BIBLIOGRAFIA.....	71
	ANNEXES	72

Índex de figures

Fig. 1. Plataforma i diferents components	11
Fig. 2. Diagrama de blocs de la instal·lació actual	12
Fig. 3. Esquema d'una cel·la	15
Fig. 4. Esquema equivalent d'una configuració de cel·les en sèrie	15
Fig. 5. Esquema de diferents bateries segons la energia específica i la densitat d'energia [4] ..	17
Fig. 6. "Ragone plot" de diferents bateries segons energia específica i la potència específica..	18
Fig. 7. Cicle de vida d'una bateria.....	19
Fig. 8. Característiques dels 5 grups principals de bateries ió-liti [6].....	22
Fig. 9. Inversor sinusoidal de 230V alimentat a partir de bateries de 12V	25
Fig. 10. Diferents casos de distorsió harmònica total (THD).....	26
Fig. 11. Croquis i dimensions del variador de freqüència instal·lat	28
Fig. 12. Variació requerida de tensió respecte freqüència per mantenir una zona de parell constant.....	28
Fig. 13. Variació requerida tensió respecte freqüència per mantenir una zona de potència constant.....	29
Fig. 14. Croquis esquemàtic d'un rotor i un estator	30
Fig. 15. Estator i rotor del motor elèctric	30
Fig. 16. Secció d'un motor elèctric asíncron.....	31
Fig. 17. Control de freqüència variable per un motor d'inducció [11].....	31
Fig. 18. Família de corbes característiques par-velocitat per totes les freqüències [11].....	32
Fig. 19. Un dels dos Moto-reductors instal·lats	32
Fig. 20. Esquema de les variables d'entrada i sortida	33
Fig. 21. Cinta mètrica utilitzada.....	34
Fig. 22. Amperímetre utilitzat	34
Fig. 23. Escenari 1 amb formigó	36
Fig. 24. Escenari 2 amb formigó	36
Fig. 25. Croquis pendent escenari 2 amb metres.....	36
Fig. 26. Escenari 3 amb formigó	37
Fig. 27. Croquis escenari 3 amb metres	37
Fig. 28. Escenari 4 amb terra	37
Fig. 29. Escenari 5 amb terra	38
Fig. 30. Croquis escenari 5 amb metres	38
Fig. 31. Escenari 6 amb terra	38
Fig. 32. Croquis escenari 6 amb metres	39
Fig. 33. Relació velocitat-freqüència amb una pendent 0%.....	41

Fig. 34. Gràfica potència (W) en funció de la freqüència.....	41
Fig. 35. Diagrama de les forces que actuen sobre la plataforma	42
Fig. 36. Diagrama de blocs opció 1 per càrrega les bateries.....	46
Fig. 37. Diagrama de blocs opció 2.1 per la càrrega de bateries	47
Fig. 38. Diagrama de blocs opció 2.2 per la càrrega de bateries	47
Fig. 39. Diagrama de blocs de l'opció 1 per alimentar els motors	47
Fig. 40. Diagrama de blocs de l'opció 2 per alimentar els motors	48
Fig. 41. Esquema corrents del sistema.....	48
Fig. 42. Gràfica V/h d'una bateria on cada corba correspon a una corrent de descàrrega	51
Fig. 43. Gràfic qualitatiu de la recta de regressió utilitzada pel càlcul del factor de capacitat... 52	
Fig. 44. Bateria NBA 3LT12N.....	55
Fig. 45. Bateria TROJAN 30XHS	56
Fig. 46. Carregador Mastervolt Mass 48/25.....	57
Fig. 47. Carregador Mastervolt ChargeMaster 24/20-3.....	57
Fig. 48. Diagrama de blocs del sistema totalment elèctric amb motors AC	59
Fig. 49. Bateria TROJAN J305P-AC.....	62
Fig. 50. Diagrama de blocs del sistema fotovoltaic.....	66

Índex de taules

Taula 1. Elements actuals de la plataforma agrícola.....	11
Taula 2. Estructura de la plataforma.....	12
Taula 3. Valors dels paràmetres de les bateries	23
Taula 4. Altres característiques importants	23
Taula 5. Característiques del variador de freqüència	29
Taula 6. Dimensions del variador de freqüència.....	30
Taula 7. Valors característics dels motors instal·lats	32
Taula 8. Llista d'assajos	35
Taula 9. Resultats experimentals	40
Taula 10. Resultats analítics	44
Taula 11. Aproximacions realitzades per als càlculs	45
Taula 12. Corrent del sistema	49
Taula 13. Corrents d'entrada a l'inversor segons la tensió d'entrada.....	50
Taula 14. Característiques de l'inversor seleccionat.....	50
Taula 15. Comparativa de diferents inversors CC-CA	51
Taula 16. Resultats de la relació I_{desc} – Capacitat per un inversor de 48 V.....	53
Taula 17. Resultats de la relació I_{desc} -capacitat per un inversor de 24 V.....	53
Taula 18. Estudi bateries per un sistema amb un inversor de 48 V.....	54
Taula 19. Estudi bateries per un sistema amb un inversor de 48 V.....	55
Taula 20. Possibles bateries tipus Li-íó per un sistema amb un inversor de 24 V	56
Taula 21. Resum dels dos dimensionaments del sistema híbrid	58
Taula 22. Corrent nominal segons inversor	60
Taula 23. Capacitats C_2 i C_5 per la instal·lació.....	61
Taula 24. Relació dels elements a partir del pes (inversor de 48 V)	61
Taula 25. Estudi bateries per un sistema totalment elèctric AC amb un inversor de 48 V.....	62
Taula 26. Relació dels elements a partir del pes (inversor de 24 V)	63
Taula 27. Elements del sistema AC.....	64
Taula 28. Bateria instal·lada	65
Taula 29. Possibles panells solars.....	66
Taula 30. Regulador de tensió BLUE SOLAR	67
Taula 31. Elements del sistema fotovoltaic.....	67

1 PLANTEJAMENT DEL TREBALL

1.1 ANTECEDENTS

El Grup de Recerca en AgròTICa i Agricultura de Precisió (<http://www.grap.udl.cat>) ha desenvolupat un vehicle, concretament una plataforma automotriu agrícola, per la realització de diferents tasques de recerca en camp. La plataforma disposa d'unes erugues accionades mitjançant motors elèctrics asíncrons. Actualment aquests motors són alimentats a través d'un grup electrogen.

La funció principal de la plataforma automotriu és la seva utilització en aplicacions d'Agricultura de Precisió. L'aplicació inicial per a la qual està pensada la plataforma és pel transport en la seva superfície d'un sensor LIDAR (radar làser) i desplaçar-se entre les fileres d'arbres fruiters i així poder prendre mostres per al seu posterior anàlisi [1].

La plataforma actualment està constituïda per un sistema format pels elements bàsics que es poden observar a la Fig. 1: dos moto-reductors (amb els seus respectius ventiladors), una variador de freqüència per cadascun d'aquests motors i un grup electrogen encarregat de donar la potència necessària pel seu funcionament.

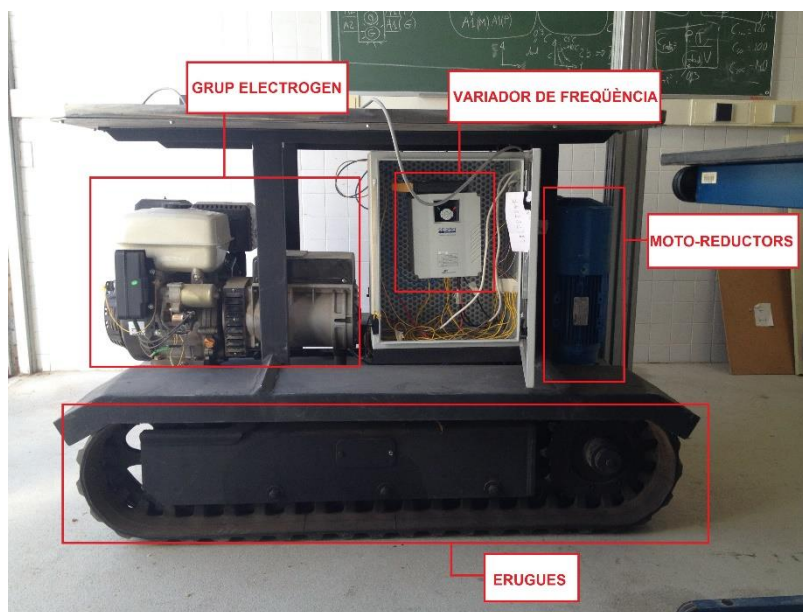


Fig. 1. Plataforma i diferents components

Consta també d'una botonera encarregada, mitjançant el variador de freqüència, de canviar la velocitat de la plataforma. A continuació es pot observar una llista dels diferents elements.

Taula 1. Elements actuals de la plataforma agrícola

Element	Marca	Model
Moto-reductor	Cuñat	MXE 86.100S.4
Variador de velocitat	Power Electronics	SD25312
Grup electrogen	Honda	GX240-GX390

Pel que fa l'estructura mecànica actual està constituïda per dues erugues per al seu desplaçament. A continuació es pot observar una llista amb els diferents paràmetres de la seva estructura.

Taula 2. Estructura de la plataforma

Paràmetre	Valor
Altura (m)	1,00
Amplada (m)	1,47
Profunditat (m)	1,00 m
Longitud erugues (m)	1,43 m (1,07 m entre eixos)
Pes (kg)	630

El funcionament de la plataforma es basa en l'encesa del grup electrogen el qual dona la corrent necessària per fer funcionar els motors. Per controlar la velocitat amb la que es vol que aquests treballin es necessita utilitzar els variadors de freqüència. Aquests són els encarregats de transformar la tensió mitjançant el seu rectificador i ondulador interns, de tal manera que així es modifica la freqüència i com a conseqüència la velocitat a la que treballaran els motors.

En la Fig. 2 es pot observar el sistema actual:

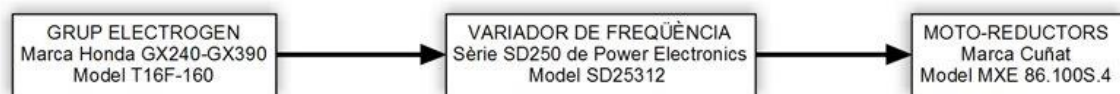


Fig. 2. Diagrama de blocs de la instal·lació actual

1.2 OBJECTIUS

L'objectiu d'aquest treball és realitzar l'estudi i posterior dimensionament de diferents sistemes de tracció de la plataforma.

El primer estudi a realitzar és el dimensionament d'un sistema híbrid, és a dir, incorporar i dimensionar bateries al sistema actual però mantenint el grup electrogen.

El segon estudi és basat en un sistema de tracció totalment elèctric aprofitant els motors de corrent altern dels que actualment disposa la plataforma. En aquesta part l'objectiu és dimensionar les bateries i incorporar-les en detriment del grup electrogen.

El tercer i últim estudi a realitzar és un sistema de tracció alimentat amb plaques fotovoltaïques, ja que els tres primers casos s'alimenten de la xarxa o del grup electrogen.

Un altre objectiu, conseqüència de l'aplicació dels diferents sistemes esmentats, és obtenir una reducció del soroll, vibracions i contaminació, ja que, actualment, són problemes força importants.

1.3 ABAST DEL TREBALL

Les principals tasques a realitzar durant el transcurs d'aquest treball són les següents:

- Estudi dels diferents elements que intervenen en les diferents alternatives de tracció de la plataforma plantejades.
- Caracterització experimental de la plataforma. Realització dels càlculs de potències a diferents velocitats o inclinacions de terreny. Així doncs, aquest treball constarà d'una part pràctica de camp.
- Disseny d'un sistema de tracció híbrid a partir del dimensionat i selecció dels diferents elements que el componen com són el carregador, l'inversor i les bateries.
- Disseny d'un sistema de tracció totalment elèctric amb motors de corrent altern a partir del dimensionat i selecció dels diferents elements que el componen com són el carregador, l'inversor i la bateria. Aquest disseny també implica l'eliminació del grup electrogen.
- Disseny d'un sistema de tracció alimentat a partir de plaques fotovoltaïques. Realitzar l'estudi per conèixer si és factible la seva instal·lació per recórrer distàncies curtes i, per tant, comportaria un sistema híbrid o si és viable la seva instal·lació per distàncies llargues aconseguint així un sistema de tracció totalment elèctric amb motors de corrent altern i sense grup electrogen.
- No s'inclou a l'abast d'aquest projecte la implementació d'aquests sistemes, però sí que es realitza l'estudi de la viabilitat tècnica i econòmica d'aquests.

2 ELEMENTS PER LA REALITZACIÓ DEL SISTEMA

En aquest capítol es realitza un estudi dels diferents elements que poden formar qualsevol dels diferents sistemes de tracció proposats a l'inici del treball. Aquest elements són les bateries, els carregador de bateries, l'inversor, els variadors de freqüència i els motors d'inducció.

2.1 BATERIES

L'objectiu d'aquest apartat és conèixer els principals tipus de bateries com també els diferents paràmetres a partir dels quals les bateries estan constituïdes i els paràmetres per al seu dimensionament.

En els últims anys, el desenvolupament tecnològic referent a les bateries i a sistemes d'emmagatzematge energètic ha creat el clima ideal per al desenvolupament dels vehicles de bateries [2]. Els materials més utilitzats en les bateries de vehicles elèctrics són el plom-àcid (Pb-Àcid), níquel-cadmi (Ni-Cd), níquel-metall hidrur (Ni-MH) i les ió-liti (Li-íó). Les bateries de liti-fosfat de ferro són actualment una de les variants de bateries més prometedores a causa del seu baix pes, alta densitat d'energia i la eradicació dels problemes sobtats que han afectat a algunes bateries de ions de liti d'ordinadors portàtils.

Actualment, la tecnologia de les bateries ofereix una menor autonomia que els motors de combustió interna a un cost més elevat. Tot i així, les bateries ofereixen uns avantatges importants com poden ser la reducció de sorolls, vibracions i contaminació.

A continuació es descriuen les bateries, també conegudes com acumuladors electroquímics, que són el sistema d'acumulació d'energia i, per tant, la seva funció és l'emmagatzematge d'aquesta. Aquestes són una peça essencial per tal que el vehicle elèctric tingui una bona operativitat. Esdevenen un component **molt costós econòmicament**, el més **pesat** i amb un **volum força considerable**. Aquests paràmetres fan que la bona elecció de les bateries sigui molt important pel bon funcionament de la plataforma.

Les bateries són dispositius el funcionament de les quals es basa en la reacció electroquímica reversible que es produeix entre dos components diferents quan estan en contacte per un electròlit (dissolució que fa de conductor iònic permetent el pas dels electrons entre l'ànode i el càtode). Durant la càrrega converteixen l'energia elèctrica en potencial energètic químic i, per altra banda, durant la descàrrega converteixen el potencial energètic químic en energia elèctrica.

Una bateria està composta per diferents cel·les adossades. Com és pot observar a la Fig. 3 una cel·la és la part més petita indivisible que forma les bateries i posseeix les propietats electroquímiques bàsiques; els dos elèctrodes esmentats, un positiu i un altre negatiu i, els dos, immergits en un electrolític. Aquesta composició provoca una reacció química que genera corrent elèctric continu.

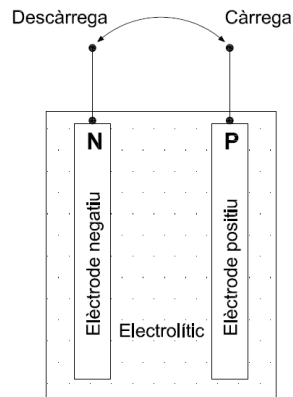


Fig. 3. Esquema d'una cel·la

A continuació es presenten els principals paràmetres de les bateries que cal tenir en compte per poder fer un dimensionat rigorós de les mateixes [3].

Voltatges de les cel·les i de la bateria

El conjunt de cel·les que formen una bateria disposen d'un voltatge nominal, encara que segons la seva descàrrega aquest voltatge pot canviar en un petit percentatge. Així doncs, normalment, en un sistema de tracció d'un vehicle (les bateries de tracció per a vehicles elèctrics, es a dir, les que impulsen el moviment del vehicle) on el requeriment total de voltatge és elevat, per tal de poder fer funcionar els motors correctament, la connexió de les bateries es realitza en sèrie, com es pot observar a la Fig. 4 o branques suficientment grans en paral·lel per tal d'obtenir un voltatge suficientment elevat.

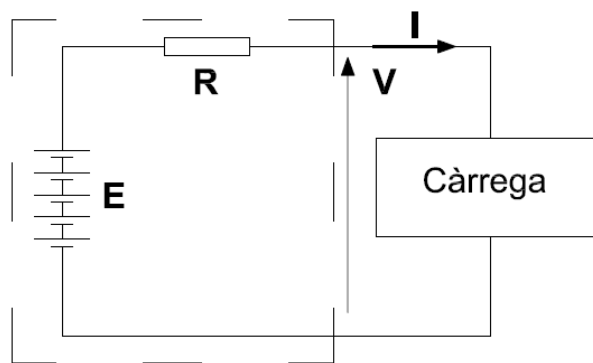


Fig. 4. Esquema equivalent d'una configuració de cel·les en sèrie

Com es pot observar en la figura superior el circuit equivalent de la bateria disposa d'una resistència interna. Aquesta resistència en una bateria en bon estat és baixa, però pot augmentar a causa de l'estat de la càrrega, la temperatura i l'envelliment de la bateria.

La capacitat

La **capacitat d'una bateria és la quantitat d'energia que pot emmagatzemar**. És el paràmetre més important. Aquest paràmetre es mesura en Coulomb (C), tot i que l'energia en el SI es mesura de Joules, però donat que la tensió de sortida en les bateries es considera constant, habitualment es mesura la capacitat en termes de càrrega, ja siguin Coulombs o més habitualment, Ah, i és el producte de la intensitat [A] pel temps [h].

$$Q[Ah] = i[A] \cdot t[h] \quad (1)$$

A efectes pràctics, la capacitat d'una bateria es mesura en Ampers hora [Ah]. Per exemple, en el cas que es tingui una bateria amb 10 Ah, això indica que es pot descarregar a 1 A durant 10 hores.

Cal tenir en compte també els rendiments de les bateries. Si es disposa de la configuració anterior de 10 Ah i es vol descarregar a 10A, aquesta bateria es descarregarà abans d'una hora. Aquesta diferència en la capacitat de la bateria és degut a reaccions químiques no desitjades a l'interior de la cel·la.

Energia emmagatzemada

La **principal funció de la bateria és emmagatzemar energia suficient per la configuració que se li ha assignat**, que depèn del voltatge i la càrrega romanent en ella. Així doncs, amb aquest propòsit **la bateria depèn del voltatge i de la capacitat**. Com que normalment es treballa en Ampers hora pel paràmetre de la capacitat, pel terme de l'energia es treballa en Watt hora, encara que la unitat del sistema internacional és el Joule.

$$E[Wh] = V[V] \cdot Q[Ah] \quad (2)$$

Tan el voltatge com la capacitat es veuen reduïts si el corrent augmenta i la bateria es descarrega més ràpidament. L'energia emmagatzemada es un paràmetre o quantitat variable i es veu reduïda si l'energia s'allibera en un breu espai de temps. Aquesta circumstància s'ha de tenir en compte en el seu disseny.

Energia específica

L'energia específica (Wh/kg) d'una bateria és l'energia elèctrica que es pot emmagatzemar per cada kilogram de massa de la bateria. No deixa de ser un valor guia ja que l'energia dins la bateria varia considerablement degut a factors com la temperatura o el percentatge de descàrrega.

A través d'aquest valor s'ha de realitzar l'estudi de la primera aproximació per saber el pes aproximat del disseny de la bateria, ja que com s'ha descrit anteriorment, l'energia emmagatzemada en una bateria pot variar considerablement a causa de factors com la tipologia de descàrrega i la temperatura.

Densitat d'energia

La densitat d'energia és la quantitat d'energia elèctrica emmagatzemada en cada metre cúbic de volum de la bateria.

Per poder realitzar una **primera aproximació del volum** que ocuparà la bateria s'utilitza aquest paràmetre (Wh/m^3 o Wh/l).

Per un volum determinat, una major densitat energètica farà que s'acumuli una major quantitat d'energia. Alternativament, per una capacitat determinada, una major densitat energètica farà que la bateria resulti més petita i lleugera. El gràfic mostra els intervals típics d'energia específica i densitat d'energia corresponents a diferents tipologies de bateries:

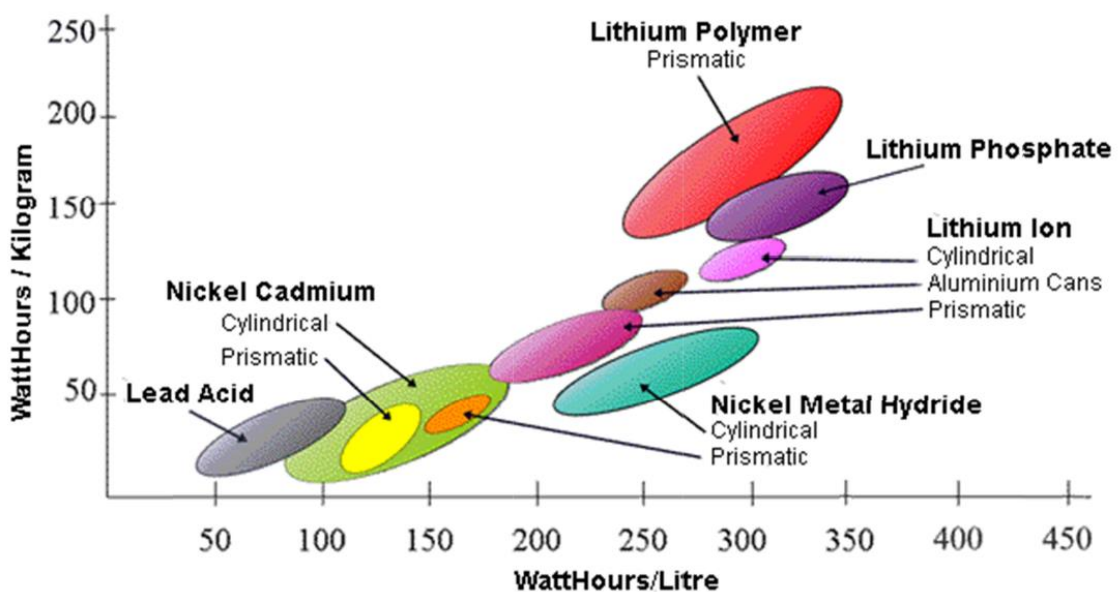


Fig. 5. Esquema de diferents bateries segons la energia específica i la densitat d'energia [4]

Per tal de conèixer el volum que requereix la bateria, dada que té un considerable impacte en el disseny del vehicle, es pot dividir la capacitat energètica (Wh) per la densitat d'energia de la bateria (Wh/m^3).

Potència específica

La potència específica és la potència que es pot obtenir per cada kilogram de la bateria (W/kg).

Hi ha bateries que poden tenir una gran densitat d'energia i energia específica però per contra una potència específica molt baixa, això vol dir que tenen una gran quantitat d'energia però que la poden deixar anar molt lentament. En termes de velocitat es pot dir que es podria recórrer una gran distància a una velocitat molt baixa. Per contra, les bateries amb una potència específica molt elevada, les anomenades "High specific power battery" disposen d'una alta potència però, normalment, una energia baixa.

La diferència dels valors de potència específica i energia específica pels diferents tipus de bateries és molt important i ajuda a poder comparar-les. Normalment es representa amb gràfics anomenats “Ragone plot”, fent servir escales logarítmiques.

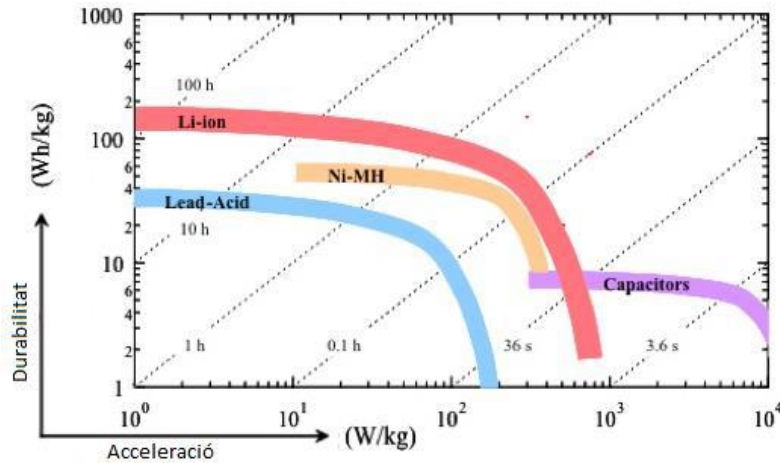


Fig. 6. “Ragone plot” de diferents bateries segons energia específica i la potència específica

Eficiència de descàrrega

L’eficiència ideal d’una bateria vindria a ser del 100%, retornant tota l’energia que se li emmagatzema. En realitat, però, això no és així; el seu valor pot variar segons el tipus de bateria que es faci servir, la temperatura, l’estat de càrrega i el percentatge de descàrrega.

Quan el valor de càrrega es situa entre el 20% i el 80%, l’eficiència sol estar propera al 100%, però en el cas d’estats de càrrega per sota del 20% l’eficiència disminueix de forma important.

Eficiència de càrrega

Es defineix com el percentatge d’energia elèctrica proporcionada per la bateria respecte la total necessària per tornar al nivell energètic previ a la descàrrega. Si la bateria es carrega i es descarrega de forma ràpida, l’eficiència energètica disminueix considerablement.

Percentatge d’autodescàrrega

Moltes bateries es descarreguen quan no es fan servir, aquest fenomen es coneix com a autodescàrrega. El percentatge varia segons el tipus de bateria i altres factors, com la temperatura o el temps que la bateria no esta operativa.

Geometria de la bateria

Les cel·les poden presentar diferents formes en les seves tapes, ja siguin rectangulars, prismàtiques, arrodonides o hexagonals, tot i que normalment estan empaquetades en blocs rectangulars. Algunes bateries només es poden proporcionar amb una tipologia geomètrica, tot i que també n’hi ha que presenten un ampli ventall de pesos i mides.

Temperatura dins la bateria

Tot i que moltes bateries funcionen a temperatura ambient, algunes d'elles necessiten un escalfament per poder començar a funcionar, seguit d'un refredament mentre estan en ús. Per tant, **el dissenyador haurà de tenir en compte tant la temperatura de treball de la bateria**, així com les necessitats d'escalfament i refredament d'aquesta.

Cicle de vida

El número exacte dels cicles de càrrega/descàrrega d'una bateria al llarg de la seva vida útil depèn de la seva tipologia química, els seus detalls de disseny i com es fa servir. Aquest **número de cicles representa el temps de vida de la bateria que, per altra banda, reflecteix el cost de funcionament del vehicle elèctric** [5]. Per tant, és el nombre total de cicles de càrrega i descàrrega que una bateria suporta abans de tornar-se incapaç d'emmagatzemar una quantitat suficient d'energia.

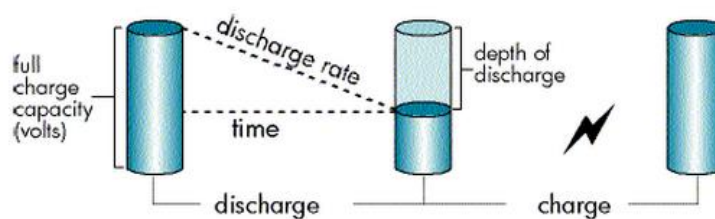


Fig. 7. Cicle de vida d'una bateria

Profunditat de descàrrega

La profunditat de descàrrega (DoD) és la quantitat d'energia extreta d'un acumulador totalment carregat durant una descàrrega, expressat amb % respecte la càrrega màxima.

La vida en cicles disminueix proporcionalment a la profunditat de descàrrega mitjana. És a dir a major profunditat de descàrrega menor vida de la bateria. Aquest és un dels paràmetres més importants al moment de dimensionar la bateria.

Velocitat de descàrrega

Es pot definir com la rapidesa amb la qual la bateria es pot descarregar de forma segura, és a dir, la quantitat de "amperes" que la bateria pot subministrar durant una hora de forma continuada.

Per exemple, si la bateria és 1 C i 2200 mAh, indica que és capaç de subministrar 2,2 A en una hora. Si a aquesta bateria se li demanem el doble d'intensitat (4,4 A), es descarregaria en mitja hora, si se li demanem 8,8 A es descarregaria en 15 minuts i així successivament. Tot i això, el fabricant delimita la intensitat màxima que li podem demanar.

2.1.1 Tipus de bateries

2.1.1.1 Bateries de plom-àcid

Les bateries de plom-àcid van ser les primeres bateries recarregables d'ús comercial. Es van inventar el 1859 pel físic francès Gaston Planté. El 95% dels vehicles elèctrics actuals fan servir bateries de plom-àcid, per tant, ja fa anys que es treballa amb elles, no obstant aquest fet, avui en dia continuen tenint força acceptació ja que les bateries de plom-àcid tenen **baixos costos, elevada capacitat de producció i un grau de desenvolupament tecnològic.**

Tanmateix disposa d'alguns desavantatges, doncs és una **bateria molt pesada i té una vida útil més curta** que altres configuracions de bateries. La **densitat d'energia també és baixa i en temperatures d'utilització més baixes de 10 graus l'energia específica i potència es redueix gradualment.** També té un **pes elevat**, fet molt important segons el disseny que es vulgui dur a terme.

Un aspecte a tenir en compte en les reaccions de sobrecàrrega i en les d'autodescàrrega és que es perd aigua, obtenint hidrogen i oxigen. En les bateries aïllades modernes, aquests gasos es retenen dins l'estructura, permetent que es recombinin novament en aigua (**bateries de gel**).

Per la seva banda, les reaccions no desitjades apareixen mentre la bateria es descarrega, resultant un menor voltatge, una elevada temperatura i una elevada activitat als elèctrodes [3].

Les bateries de Plom-Calci són bateries de Plom-àcid on els elèctrodes han estat modificats afegint calci, el qual proporciona més resistència a la corrosió, sobrecàrrega, gasificació i autodescàrrega. Conté un electròlit més gran i el seu manteniment baix o nul

Les bateries de Plom-Antimoni són bateries de Plom-àcid on els elèctrodes han estat modificats afegint antimoni i, per tant, són mecànicament més resistents, es redueix la calor interna i la pèrdua d'aigua, la vida de servei més llarga que no pas les que incorporen calci, és més fàcil carregar-les quant han estat completament descarregades i tenen un cost menor.

2.1.1.2 Bateries en base de níquel

El níquel és un material que respon millor que el plom des del punt de vista electromagnètic i disposa de propietats més adequades i avantatges per desenvolupar bateries. Les bateries en base de níquel disposen de diferents tipologies de composició: níquel-cadmi i níquel-metall hidrur.

Les bateries de níquel-cadmi es van inventar el 1899 per Waldmar Jungner, presenten importants avantatges respecte les bateries de plom, encara que el **material és més car i el seu ús més restrictiu.**

Aquestes bateries s'estan adoptant com a substituïts de les bateries plom-Àcid degut a que **dupliquen la capacitat de càrrega** (de manera que amb menys pes de bateria s'aconsegueix tenir més energia emmagatzemada), **augmenten els cicles de vida**, tenen **baixa autodescàrrega** i presenten un **bon comportament a baixes temperatures.**

La seva part negativa és que disposen d'un **voltatge molt baix on cada cel·la ronda els 1,2V, gairebé la meitat que les bateries de plom-àcid**. Aquest fet explica parcialment l'elevat cost d'aquest tipus de bateries, doncs es necessiten més cel·les per obtenir el voltatge necessari. A més, el cadmi és un **material amb el preu elevat, ambientalment perillós i potencialment cancerigen**.

Les bateries de níquel-metall hidrur tenen bàsicament el mateix funcionament i prestacions que les bateries de Ni/Cd. Encara que siguin **menys eficients (60-70%) en la càrrega i descàrrega que fins i tot les de plom-àcid**, compten amb una **densitat d'energia de 60-120 Wh/kg, força més alta que les de plom-àcid**. Consta també d'una **potència específica molt elevada** tal i com es pot observar a la Taula 3. Quan s'utilitzen correctament, les bateries de níquel-metall hidrur poden tenir **vides excepcionalment llargues**. Esmentar també que aconseguir solucionar el problema mediambiental que presenten les bateries de Ni/Cd, al substituir el cadmi de l'ànode per aliatges de metalls no contaminants.

Com a desavantatges es troben la **baixa eficiència**, una **elevada auto-descàrrega**, **cicles de càrrega molt meticulosos**, i les **pobres prestacions en ambients freds**.

2.1.1.3 Bateries en base de sodi

A partir dels anys 80 es va desenvolupar la tecnologia per realitzar bateries amb base de sodi, la característica principal de les quals és que poden treballar en un **règim de temperatures molt elevades**. Aquest fet provoca que siguin especialment **recomanades per cicles de descàrrega força llargs en el temps**.

Les bateries de sodi-sulfur poden operar fins a temperatures de 350°C. Aquestes bateries disposen d'una **energia específica elevada**. Un punt negatiu d'aquestes bateries és el seu règim de treball, doncs com que arriben a temperatures molt elevades i atès les reaccions químiques que es produeixen a les cel·les, **la carcassa que les recobreix és d'unes mides més grans que en altres bateries**. Aquesta circumstància fa que **no siguin recomanades d'utilitzar-les quan un factor determinant del disseny sigui el de les seves dimensions**.

Les bateries de clorur de sodi metàl·lic són molt similars a les bateries de sodi-sulfur, encara que disposen d'alguns avantatges, principalment pels **nivells de seguretat** respecte de les altres. En contra seu hi ha el seu règim de treball, doncs necessiten operar a **temperatures altes i això fa que el seu règim de treball sigui més curt**. També **necessiten està connectades a una font per poder mantenir la seva escalfor i aquesta és la principal limitació d'aquestes bateries**.

2.1.1.4 Bateries en base de liti

A la dècada dels 80 van entrar a formar part del mercat les bateries de liti. Aquesta nova tipologia de bateries oferia un **increment de la densitat d'energia** en comparació amb la resta de bateries, encara que també **un increment en el cost**. Un punt important d'aquestes bateries és la necessitat de **controlar el voltatge quan la bateria es carrega, ja que es pot malmetre si és massa elevat**. Normalment els carregadors els proporciona la mateixa empresa de bateries.

Un punt a destacar d'aquestes bateries és el seu pes inferior respecte a les altres bateries i aquesta característica les fa ser un candidat molt recomanable per els vehicles elèctrics. En el seu cas, gràcies al seu nivell de pesos, l'energia específica, per exemple, és tres vegades més alta que les de plom-àcid. A més a més, són bateries que disposen d'un gran equilibri entre la seva densitat energètica i potència específica.

Les bateries de liti-ió, liti-polímer i similars, àmpliament conegudes a través del seu ús en ordinadors portàtils i electrònica de consum, dominen el grup més recent en el desenvolupament de sistemes per a vehicles elèctrics. La química tradicional del ió-liti implica un càtode d'òxid de liti-cobalt i un ànode de grafit. D'això es deriven unes densitats d'energia remarcables de fins a 180 Wh/kg, bones densitats de potència i rendiments de càrrega i descàrrega d'entre el 80 i el 90% tal i com es pot observar a la Taula 3.

Els principals desavantatges del ió-liti són cicles de vida curts i la degradació significativa amb l'edat. A més, les bateries d'ió-liti tradicionals es poden incendiar si es perforen o es carreguen incorrectament per la inestabilitat que presenta el liti amb l'atmosfera.

La majoria de vehicles elèctrics actuals estan utilitzant les noves variacions desenvolupades en la química del ió-liti que sacrifica la densitat d'energia per millorar altres característiques com subministrar potències específiques extremes, resistència al foc, menors riscos de contaminació ambiental, càrregues molt ràpides (en qüestió de minuts) i cicles de vida més llargs. Aquestes variants han demostrat que tenen una vida útil molt més llarga.

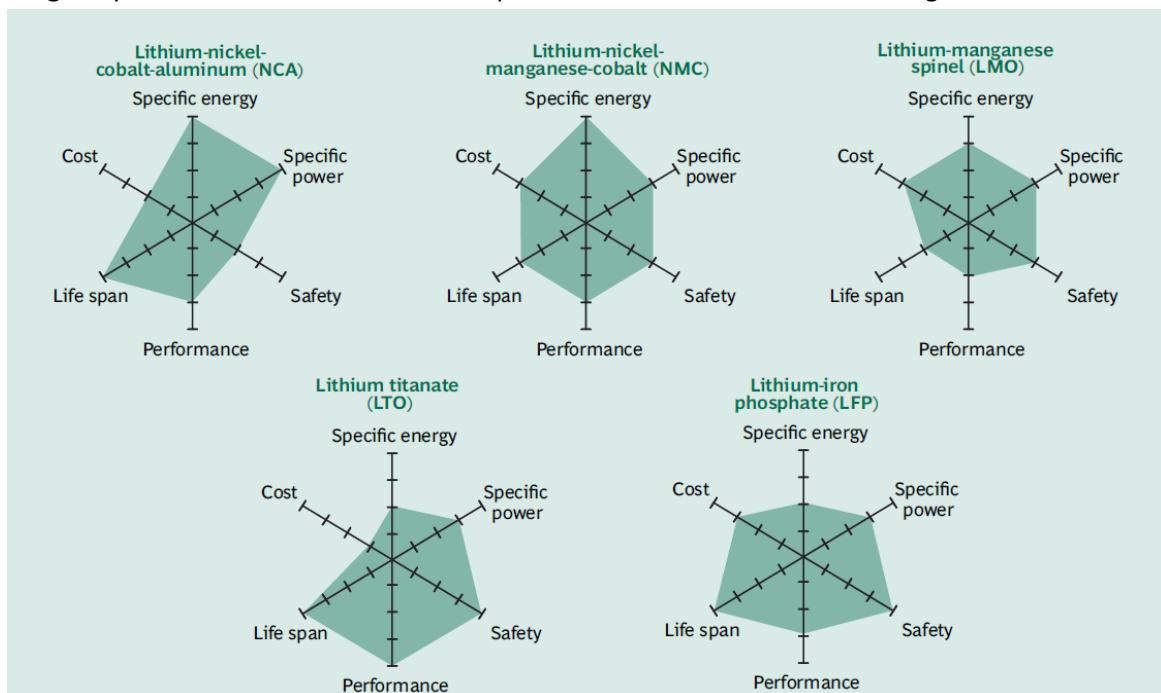


Fig. 8. Característiques dels 5 grups principals de bateries ió-liti [6]

Les bateries de Liti-fosfat de ferro millora la velocitat de càrrega i descàrrega, així com la capacitat d'emmagatzematge d'energia. I degut a que deriven de la tecnologia de ió-liti, les

bateries de LiFePO_4 hereten molts dels avantatges i desavantatges de la química del ió-liti. Per exemple, les bateries de LiFePO_4 poden **proporcionar una corrent de descàrrega major**.

Els **trencaments poden succeir sota calor extrema**, en general més de 800°C . No obstant això, les bateries LiFePO_4 no tenen les mateixes fuites tèrmiques que les bateries de LiCoO_2 . Les piles LiFePO_4 també presenten les millors característiques de seguretat, amb capacitat de fins a 2000 cicles de càrrega/descarrega.

La tecnologia del LiFePO_4 té alguns desavantatges en comparació amb altres tecnologies de ió-liti. La tensió mínima de descàrrega de la cèl·lula és de 2,8V, la tensió de treball és de 3,2V i la tensió màxima de càrrega és de 3,6V. A més, la densitat d'energia del LiFePO_4 és menor que el de les bateries de LiCoO_2 , per la qual cosa requereix un major desenvolupament per millorar aquesta característica. No obstant això, les bateries LiFePO_4 tenen un **cost potencialment més baix que els seus homòlegs basats en el liti**.

2.1.1.5 Resum paràmetres dels diferents tipus de bateries

Taula 3. Valors dels paràmetres de les bateries

Tipus	Voltatge	Densitat d'energia		Potència	Eficiència	Descarrega	Cicles
	(V)	(Wh/kg)	(Wh/L)	(W/kg)	(%)	(%/mes)	
Pb-Àcid	2,1	30-40	60-75	180	70%-92%	3% - 4%	500-800
Ni-Cd	1,2	40-60	50-150	150	70%-90%	20%	1500
Ni-Mh	1,2	30-80	140-300	250-1000	66%	20%	1000
Ni-Zn	1,7	60	170	900		25%	100-500
Li-Ió	3,6	160	270	1800	99.9%	5% - 10%	1200
Li-Polímer	3,7	130-200	300	3000	99.8%		500-1000
LiFePO_4	3,25	80-120	170	1400			2000
Sal fossa		70-110		150-220			3000

Taula 4. Altres característiques importants

Tipus	Energia/ pes	Tensió per element (V)	Duració (número de recarregues)	Temps de carga	Auto-descarrega per mes (% del total)
Plomo	30-40 Wh/kg	2,00	1000	8-16h	5 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25	500	10-14h	30 %
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25	1000	2h-4h	20 %
Li-Ió	110-160 Wh/kg	3,16	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7	5000	1h-1,5h	10 %

2.2 CARREGADOR DE BATERIES

Com s'ha comentat anteriorment, per la càrrega de bateries caldrà incorporar a la instal·lació un carregador de bateries que passi el corrent altern del generador a corrent continu, a la tensió adequada per a la càrrega.

La potència del carregador no ha de ser excessiva. Un procés de càrrega massa ràpid pot deteriorar les bateries. La potència del carregador, per tant, hauria de ser l'equivalent, com a màxim, al 10% de la capacitat de les bateries. Per exemple, unes bateries de 400 Ah a 48 V tenen una capacitat de 19,2 kWh, resultat de multiplicar ambdós valors. En aquest cas la potència del carregador podria estar entre 1 i 2 kW.

2.2.1 Aspectes importants

Aquest apartat donarà a conèixer els aspectes i característiques que s'han tingut en compte per elegir el carregador de bateries. Aquests aspectes són els següents [8]:

- **El tipus de bateries que és capaç de carregar.** Avui en dia pràcticament tots els carregadors són capaços de carregar diferents tipus de bateries incloent les de base Níquel, les de base Liti i les de plom. Aquest punt no és un factor molt determinant ja que gairebé tots els carregadors són capaços d'oferir les mateixes prestacions.
- **Voltatges d'entrada.** Es poden trobar carregadors de tres tipus:
 1. Cal connectar-los a corrent altern de 230 V (CA).
 2. Cal connectar-los a corrent continu de 11-18 V (CC).
 3. Suporten ambdós tipus de connexió (CA/CC).
- **Les funcions.** Les més habituals són: càrrega, descàrrega, cicles de càrrega / descàrrega, mode "Storage" (per emmagatzemar les bateries quan no les farem servir en un temps), mode balanç i altres funcions que es poden configurar, com per exemple, les funcions avançades del "delta peak", tall per temperatura, etc.
- **Característiques tècniques.** Aquestes són les següents:
 1. Corrent màxima a la que és capaç de carregar (marcarà el temps de càrrega).
 2. Corrent màxima de descàrrega.
 3. La potència que és capaç de subministrar el carregador.

Depenent del tipus de bateries es poden seleccionar diferents intensitats de càrrega i descàrrega, i en funció de la capacitat de la bateria es pot calcular el temps necessari per a la càrrega.

- **Potència màxima.** Com s'ha comentat, la potència es defineix com el producte de voltatge per intensitat del corrent. Als carregadors el voltatge de sortida és el de la bateria connectada i el corrent el que es seleccioni en cada cas com a corrent de càrrega. És un paràmetre important perquè pot exercir de factor limitant. Si es calcula la $I_{màx}$ a

partir de la relació entre la potència i el voltatge de la bateria pot passar que el carregador no pugui arribar a donar la intensitat màxima perquè la potència limita aquest factor, o viceversa, que la potència permeti donar més intensitat que la que es capaç de donar la bateria i per tant, en aquest cas, la bateria seria el limitant.

- **El nombre de sortides.** Aquest punt és important en funció de les bateries que necessita la plataforma i del nombre de bateries que es carreguin al mateix temps. Aquest fet pot portar problemes de capacitat del carregador i això obligaria, per exemple, a tenir que carregar les bateries una a una. Si el carregador disposa de més de una sortida aquest problema estaria solucionat tot i que el temps de carrega seria més elevat.

2.3 INVERSOR

Quan la plataforma treballa amb motors de corrent corren alterna els quals són alimentats per bateries necessiten un dispositiu anomenat inversor. Aquest element és un circuit utilitzat per convertir corrent continu en corrent altern. Un inversor té com a funció la de canviar un voltatge CC d'entrada en un voltatge AC simètric a la sortida, procurant que aquest tingui la magnitud i freqüència desitjada per l'usuari. Les funcions principals de l'inversor són: inversió, modulació de l'ona alterna de sortida i regulació del valor eficaç¹ del voltatge de sortida.

Els inversors del mercat poden ser monofàsics o trifàsics a una freqüència de 50 Hz, amb diferents voltatges nominals d'entrada i un ampli rang de potències disponibles. Pel cas concret d'aquest treball interessen els inversors trifàsics que treballen connectats a bateries.



Fig. 9. Inversor sinusoidal de 230V alimentat a partir de bateries de 12V

¹ El valor eficaç de la tensió és el valor mesurat per la majoria dels voltímetres de CA. Equival a una tensió CC constant que, aplicada sobre una mateixa resistència elèctrica, consumeix la mateixa potència elèctrica, transformant l'energia elèctrica en energia tèrmica per efecte Joule.

Els inversors es classifiquen segons al forma de l'ona a la tensió de sortida [9]:

- Inversors d'ona quadrada.
Aquesta classe d'inversors controlen la magnitud de l'entrada en CC amb molt poca modulació i filtrat. La principal funció d'aquesta classe d'inversor és la de controlar la freqüència del senyal de sortida. L'ona resultant té una distorsió harmònica total² bastant elevada, del 40%. El seu rendiment oscil·la entre 50-60% amb una potència de sobrecarrega baixa, del 10-20% de la seva potència nominal. La seva regulació de voltatge també és molt baixa. Són els més econòmics.
- Inversors d'ona modificada o quasi-sinusoidal.
Aquests presenten una THD del 20% i tenen uns rendiments superiors al 90%. Són els que millor relació qualitat-preu ofereixen per la connexió de variadors de freqüències.
- Inversors d'ona sinusoidal (molt semblant a la de la xarxa elèctrica).
Aquests tenen un filtrat molt específic. Generalment són la millor opció per l'alimentació de carregues AC. No presenten cap problema amb relació amb la THD o pics de voltatge alts. **És la millor opció degut a que els motors d'inducció requereixen una forma d'ona sinusoidal pura.** Econòmicament el seu preu és pròxim als demés tipus d'inversors.

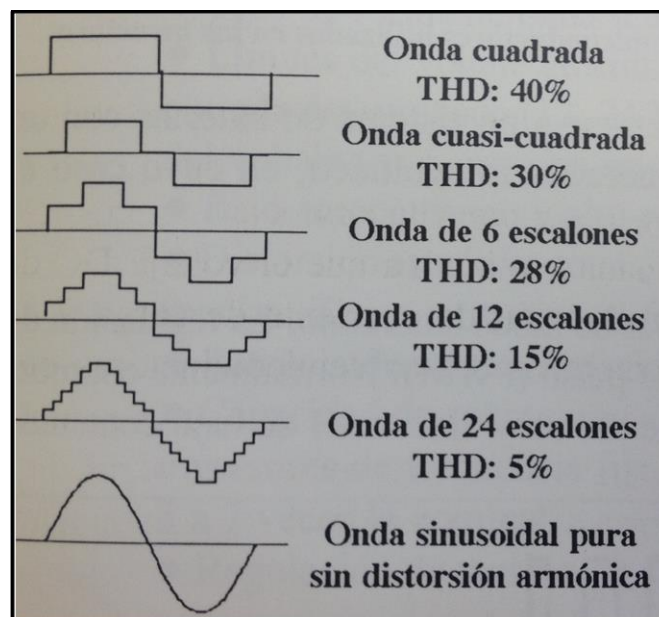


Fig. 10. Diferents casos de distorsió harmònica total (THD)

² La distorsió harmònica total (THD) d'un senyal es defineix com el quocient de la suma de les potències de tots els components harmònics de la freqüència fonamental. La Fig. 10 presenta un exemple clarificador.

Un altre paràmetre important a tenir amb compte quan es parla d'un inversor és la regulació del valor eficaç del voltatge de sortida, la qual es porta a terme mitjançant la regulació de l'ample de banda amb una tècnica anomenada PWM (modulació de l'amplada de pols).

Per tant, a grans trets, els inversors modulats en PWM parteixen del problema que a l'entrada d'aquest inversor es troba un voltatge CC constant que en general prové d'un pont rectificador. La modulació d'ample de pols PWM controla la magnitud i la freqüència del voltatge de la sortida; aquesta modulació controla els interruptors de l'inversor impedit la seva aturada.

2.3.1 Aspectes importants

Els cinc aspectes més importants per dimensionar i poder escollir l'inversor, per aquest projecte concret, són els següents:

- **Potència:** el grup electrogen és un element que pot aproximar la potència necessària que requerirà l'inversor per un correcte funcionament. L'estudi parteix de potències a partir de 4 kW fins al màxim de 7,5 kW. Potències més grans aportarien trets negatius com per exemple un sobre dimensionament i, per tant, un cost molt elevat. Per altra banda, els inversors amb potències inferiors provocarien la necessitat de dissenyar una instal·lació amb un conjunt elevat de número de bateries, comportant problemes d'espai, econòmics i estructurals.
- **Potència d'arrencada (valor pic):** els motors d'inducció poden sol·licitar de 2 a 7 vegades més potència per arrencar que per seguir en marxa una vegada arrencat.
- **Trifàsic:** per la plataforma es requereix d'un inversor trifàsic per poder ser adaptable a l'entrada del variador de freqüència instal·lat.
- **Freqüència:** la sortida de l'inversor es correspon amb l'entrada dels variadors de freqüència treballen dins del rang 50-60 Hz.
- **Econòmic:** aquest factor mesura la qualitat del producte i per tant provoca que es tingui que realitzar una cerca acurada per aconseguir bones prestacions a bon preu.
- **Dimensionat:** aquest factor es obligat degut a que la plataforma té una estructura definida i l'espai per l'inversor no es pot modificar.

2.4 VARIADOR DE FREQUÈNCIA

El variador és un element important per la instal·lació que es vol dissenyar. Un variador de velocitat, es un dispositiu, en aquest cas elèctric - electrònic, utilitzat per controlar la velocitat giratòria, majoritàriament de motors.

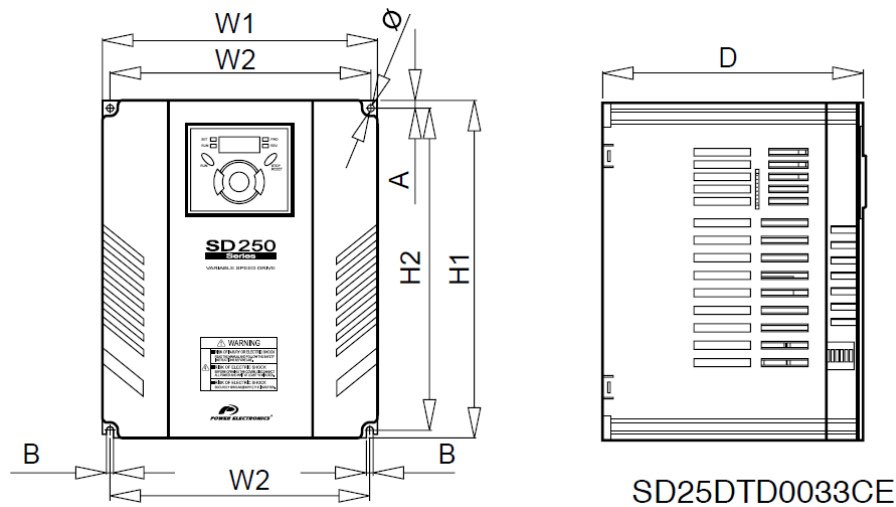


Fig. 11. Croquis i dimensions del variador de freqüència instal·lat

2.4.1 Conceptes bàsic de funcionament

Els variadors de velocitat electrònics per a motors de CA també són coneguts com a variadors de freqüència. Un variador de freqüència és un sistema per al control de la velocitat rotacional d'un motor de corrent alterna (AC) mitjançant el control de la freqüència d'alimentació subministrada al motor, es a dir, el control del voltatge respecte la freqüència.

Amb aquest control s'aconsegueix que el par electromagnètic del motor i la velocitat es puguin controlar modificant la relació de voltatge i freqüència de l'alimentació als terminals del estàtor, que és exactament la funció que realitza el variador.

El variador permet alterar el valor d'aquestes variables i, d'aquesta manera, pot modificar la corba mecànica del motor d'inducció [10].

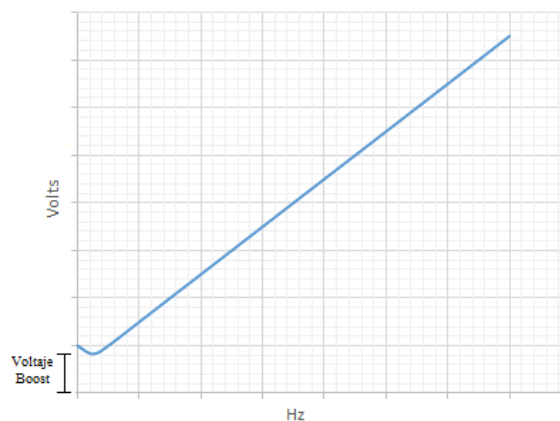


Fig. 12. Variació requerida de tensió respecte freqüència per mantenir una zona de parell constant

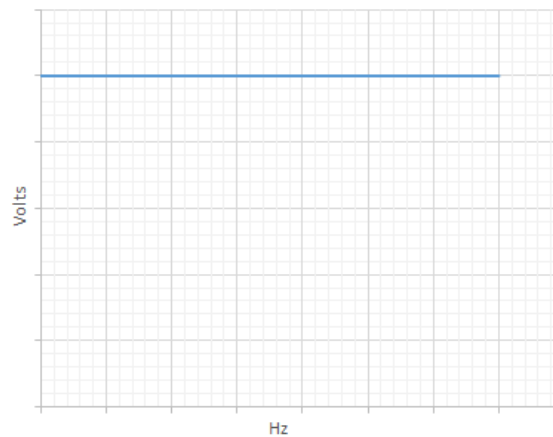


Fig. 13. Variació requerida tensió respecte freqüència per mantenir una zona de potència constant

Es pot observar a la Fig. 12 i la Fig. 13 que si es desitja una zona de parell constant, la relació voltatge/freqüència ha de ser constant. Si es vol tenir una zona de potència constant, el voltatge s'ha de mantenir constant, mentre que la freqüència ha de créixer.

L'estructura del variador està formada per dispositius de conversió electrònics d'estat sòlid. Normalment, primer converteix l'energia d'entrada AC en CC usant un pont rectificador. L'energia intermèdia CC és convertida en un senyal quasi-sinusoidal de AC usant un circuit inversor commutat.

El rectificador és normalment un pont trifàsic de díodes, però també s'usen rectificadors controlats de silici. Com que l'energia és convertida en contínua, moltes unitats accepten entrades tant monofàsiques com trifàsiques.

Com s'ha comentat, les característiques d'un motor AC requereixen la variació proporcional del voltatge cada vegada que la freqüència varia. Per tant, per a un funcionament òptim, són necessaris ajustos de voltatge, normalment la constant de treball és V/Hz. El mètode més nou i estès en noves aplicacions és el control de voltatge per PWM (comentat a l'apartat anterior).

2.4.2 Variador de freqüència instal·lat

El variador de freqüència instal·lat a la plataforma automotriu actualment és el variador de la sèrie SD250 de Power Electronics, concretament el model SD25312 (Annex 1).

Actualment la plataforma utilitza un variador per a cada un dels dos motors de la plataforma.

Les característiques del variador es poden veure a les Taula 5 i Taula 6:

Taula 5. Característiques del variador de freqüència

kW	Intensitat (A)	Tensió (V)	Factor potència	η (plena carga)
5,5	12	380-480	>0,98	>98%

Taula 6. Dimensions del variador de freqüència

Referència	H1 (mm)	H2 (mm)	W1 (mm)	W2 (mm)	D (mm)	Φ (mm)	A (mm)	B (mm)
BSD25312	220	210	180	170	170	4,5	5,0	4,5

2.5 MOTORS D'INDUCCIÓ

En la part inicial aquest capítol presenta una introducció dels conceptes bàsics de funcionalitat d'aquests motors, mentre que a continuació, es presenta informació sobre les principals característiques així com el model instal·lat actualment a la plataforma.

2.5.1 Tipus i conceptes bàsics de funcionament

La constitució d'un motor asíncron d'inducció, com totes les màquines elèctriques, està constituït per un circuit magnètic i dos d'elèctrics, un col·locat a la part fixa (estator) i un altre a la part mòbil (rotor) com indica la Fig. 14.

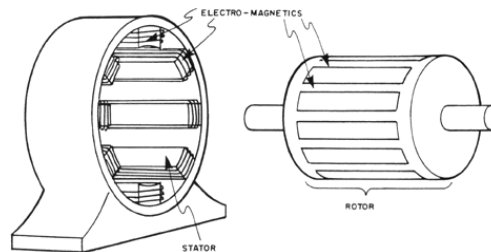


Fig. 14. Croquis esquemàtic d'un rotor i un estator

El circuit magnètic està format per xapes apilades amb forma de cilindre al rotor i amb forma d'anell a l'estator, com s'observa a la Fig. 15.



Fig. 15. Estator i rotor del motor elèctric

El cilindre és introduït a l'interior de l'anell i, per a que pugui girar lliurement, es té que dotar amb un entreferro³ constant. L'anell està constituït per ranures a la seva part interior per col·locar el bobinat inductor i s'embolica exteriorment per una peça metàl·lica amb suport anomenada carcassa.

³ Espai de aire existent entre el rotor i l'estator.

El cilindre és adossat a l'eix del motor i pot tenir la superfície amb ranures per col·locar el bobinat induït (motors de rotor bobinat) o bé se li incorporen conductors de gran secció soldats a anells del mateix material als extrems del cilindre (motors de rotor amb curtcircuit) similars a una gàbia d'esquirol, com és el cas en qüestió de la plataforma sobre la que es realitza aquest treball.

Finalment l'eix està recolzat sobre uns rodaments d'acer per evitar fregament i es treu al exterior per transmetre moviment. Òbviament porta acoblat un ventilador de refrigeració, els extrems del bobinat es treuen al exterior i es connecten a la placa dels borns.

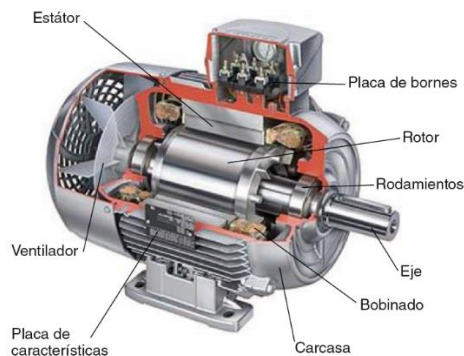


Fig. 16. Secció d'un motor elèctric asíncron

2.5.2 Característica parell - velocitat

La taxa de rotació dels seus camps magnètics (n_{sinc}) canviarà amb proporció directa amb el canvi de freqüència elèctrica i la corba característica parell-velocitat també canviarà com és pot observar a la Fig. 17. La velocitat síncrona del motor amb condicions nominals es coneix com velocitat base. Per exemple, mitjançant el variador de freqüència de la plataforma es pot ajustar la velocitat per sota o sobre d'aquest valor base [11].

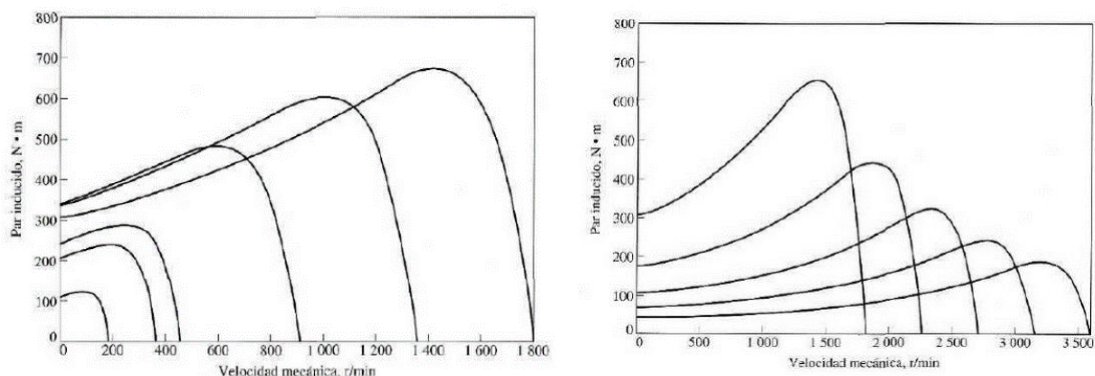


Fig. 17. Control de freqüència variable per un motor d'inducció [11]

La gràfica esquerra de la Fig. 17 mostra la família de corbes característiques per velocitats menors a la velocitat base, suposant que el voltatge de línia es redueix linealment amb la freqüència. A la part dreta de la imatge hi ha la família de corbes característiques per velocitats més grans que la velocitat base, suposant que el voltatge de línia es manté constant.

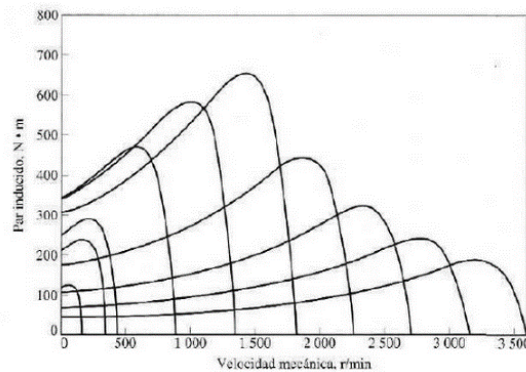


Fig. 18. Família de corbes característiques par-velocitat per totes les freqüències [11]

La Fig. 18 mostra el cas en el que el voltatge del estator varia linealment amb la freqüència per sota de la velocitat base i es manté constant a un valor nominal superior a la velocitat base. La velocitat nominal del motor de les corbes de la Fig. 17 i la Fig. 18 és de 1.800r/min.

2.5.3 Motors instal·lats actualment

La instal·lació de la plataforma està constituïda actualment per dos moto-reductors, els quals són, senzillament, un element format per un motor d'inducció i un reductor de velocitat. El moto-reductor instal·lat és de la marca "Cuñat" concretament el model MXE 86.100S.4. Hi ha instal·lat un moto-reductor per a cada eruga de la plataforma.



Fig. 19. Un dels dos Moto-reductors instal·lats

Pel que fa al motor instal·lat, es tracta d'un motor trifàsic asíncron, amb rotor de caixa d'esquirol i connectat amb estrella.

Les característiques tècniques són les següents:

Taula 7. Valors característics dels motors instal·lats

kW	Hz	Tensió Δ (V)	Tensió Y (V)	Intensitat Δ (A)	Intensitat Y (A)	cos φ	RPM
2,2	50	230	400	8,42	4,84	0,81	1420
2,64	60	276	480	8,42	4,84	0,81	1704

En aquest cas, tal i com s'ha comentat anteriorment, la connexió realitzada és en estrella, per tant, el voltatge i la intensitat nominal de treball són de 400 V i 4,84 A respectivament.

3 CARACTERITZACIÓ EXPERIMENTAL DE LA PLATAFORMA

Aquest capítol mostra els diferents punts seguits per l'elaboració de la part experimental amb la plataforma abans de dimensionar el sistema. També és realitzarà el mateix estudi analíticament per poder realitzar una comparació amb l'estudi experimental i d'aquesta manera quedaran demostrats els resultats obtinguts.

3.1 OBJECTIUS

L'objectiu dels assajos és realitzar una simulació dels diferents escenaris en els que la plataforma es pot trobar en un moment donat, ja sigui quan treballa sobre un camp pla o amb una mica de pendent fins al moment que la plataforma necessita pujar una pendent considerable, per exemple, quan s'ha de transportat amb un camió i s'ha de pujar a dins d'aquest mitjançant una rampa.

A partir dels diferents assajos i mitjançant un amperímetre es mesura la intensitat d'entrada al variador de freqüència, dada que permet el càlcul del consum de la plataforma en cada cas. Aquest és el paràmetre més important perquè ens permetrà dimensionar els diferent elements a incorporar a la plataforma en el següent apartat.

Per tant, aquest assajos ens han de permetre conèixer diferents valors d'intensitats i potències. Les diferents variables a calcular es poden veure a la Fig. 20:

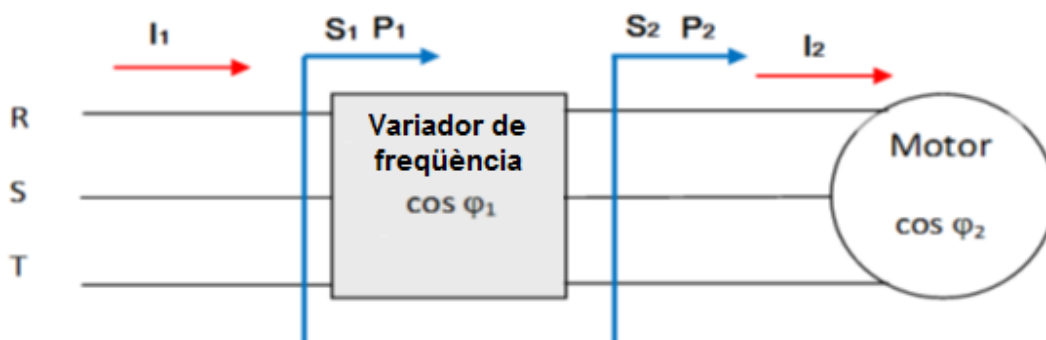


Fig. 20. Esquema de les variables d'entrada i sortida

El valor principal que es vol extreure d'aquests assajos es la I_1 , es a dir, la intensitat d'entrada al variador de freqüència. Aquest és el valor més important perquè a partir d'aquest es poden calcular tota la resta de variables.

Un cop calculada la I_1 es calcula la potència aparent d'entrada al variador de freqüència (S_1) i la potència real d'entrada al motor (P_1).

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 \quad (4)$$

$$P_1 = S_1 \cdot \cos \varphi \quad (5)$$

On V_1 : és la tensió d'alimentació del variador de freqüència amb magnitud 400V.

$\cos\phi$: és el factor de potència del variador de freqüència. El seu valor es pot extreure del manual del variador [13] i és igual a 1. Per tant, la potència activa i la potència aparent a l'entrada del variador tindran la mateixa magnitud.

A partir de la P_1 es pot realitzar el càlcul de la P_2 , es a dir, la potència d'entrada al motor. Aquesta es realitza mitjançant el rendiment (η_1) del variador de freqüència, en aquest cas i per aquest model, de valor 0,99 [13]

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_1 \quad (6)$$

A més a més, un altre paràmetre que es vol calcular es la velocitat de la plataforma en cadascun dels diferents escenaris, mitjançant la **distància recorreguda** i el **temps que necessita per realitzar-la**.

$$v = \frac{\text{distància (m)}}{\text{temps (s)}} \quad (7)$$

3.2 MATERIALS I MÈTODES

Per realitzar els assajos correctament és necessari poder utilitzar els elements següents:

1. **Cinta mètrica:** element necessari per calcular les diferents distàncies i pendents.



Fig. 21. Cinta mètrica utilitzada

2. **Amperímetre:** l'element més important. A partir d'aquest es podrà obtenir la I_1 comentada anteriorment i, com a conseqüència, el càlcul de totes les variables.



Fig. 22. Amperímetre utilitzat

3. **Cronòmetre:** element necessari per calcular el temps que dura casa assaig.

Llista d'assajos.

La idea principal és realitzar els assajos en dos terrenys diferents per observar com treballa la plataforma sobre ells. Com es pot observar a la Taula 8 els terrenys dels assajos són sobre formigó i terra (camp).

Dins de cadascun d'aquest terrenys es realitzaran **tres assajos** idèntics (es a dir, amb total es realitzaran sis assajos, tres per cada tipus de terreny) on l'únic factor que tindrà variació serà el pendent sobre el qual es realitzarà la prova. La Taula 8 indica pendents mínims del 0% fins pendents màxims majors de 20%.

Taula 8. Llista d'assajos

Assaig	Terreny	Pendent	Freqüència
1	Formigó	≈ 0%	10 Hz
2	Formigó	≈ 0%	25 Hz
3	Formigó	≈ 0%	50 Hz
4	Formigó	≈ 5%	10 Hz
5	Formigó	≈ 5%	25 Hz
6	Formigó	≈ 5%	50 Hz
7	Formigó	> 20%	10 Hz
8	Formigó	> 20%	25 Hz
9	Formigó	> 20%	50 Hz
10	Terra	≈ 0%	10 Hz
11	Terra	≈ 0%	25 Hz
12	Terra	≈ 0%	50 Hz
13	Terra	≈ 5%	10 Hz
14	Terra	≈ 5%	25 Hz
15	Terra	≈ 5%	50 Hz
16	Terra	> 20%	10 Hz
17	Terra	> 20%	25 Hz
18	Terra	> 20%	50 Hz

Finalment, dins de cada assaig segons el pendent, es realitzaran diferents assajos variant la freqüència a la que treballarà la plataforma. En termes de velocitat, la plataforma treballarà normalment a velocitats mínimes de 0,2 km/h fins a velocitats màximes de 6 km/h. Aquestes dades equivalen a freqüències de 10 – 50 Hz. Com indica la Taula 8 aquestes freqüències són de 10, 25 i 50 Hz. Es considera que normalment la plataforma treballarà amb aquestes freqüències.

Escenaris.

Els assajos, com s'ha esmentat, es realitzaran sobre dos terrenys diferents. Així doncs, tindrem tres escenaris per cada terreny (un per cada tipus de pendent).

A continuació es pot observar un recull fotogràfic dels diferents terrenys on és realitzaran els diversos assajos.

1. **Escenari 1:** Formigó amb pendent 0%.



Fig. 23. Escenari 1 amb formigó

En aquest escenari és realitzarà cadascun dels assajos durant una distancia de 50 metres.

2. **Escenari 2:** Formigó amb pendent 4,5%.



Fig. 24. Escenari 2 amb formigó

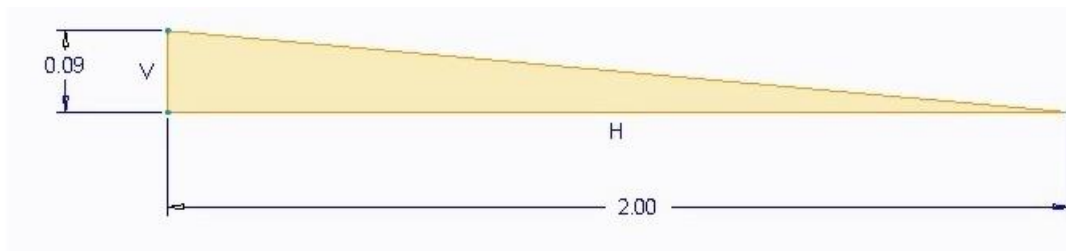


Fig. 25. Croquis pendent escenari 2 amb metres

Càlcul del pendent suau de formigó. Mesures realitzades:

Diferència d'alçades = 9 cm

Longitud horitzontal = 200 cm

Pendent calculat: En percentatge (% vertical / horitzontal) = 4,5%.

3. **Escenari 3: Formigó amb pendent 22%.**



Fig. 26. Escenari 3 amb formigó

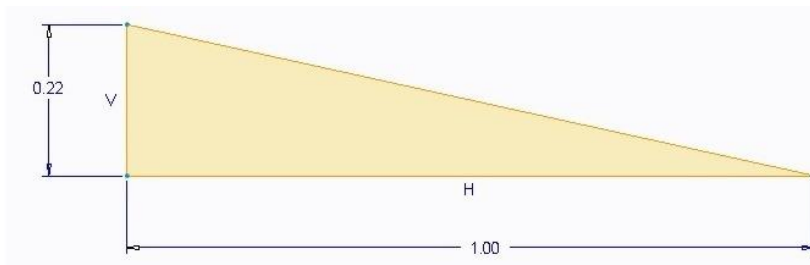


Fig. 27. Croquis escenari 3 amb metres

Càlcul del pendent suau de formigó. Mesures realitzades:

Diferència d'alçades = 22 cm

Longitud horitzontal = 100 cm

Pendent calculat: En percentatge (% vertical / horitzontal) = 22%.

4. **Escenari 4: Terra amb pendent 0%.**



Fig. 28. Escenari 4 amb terra

En aquest escenari és realitzarà cadascun dels assajos durant una distancia de 50 metres.

5. **Escenari 5:** Terra amb pendent **4,75%**.



Fig. 29. Escenari 5 amb terra

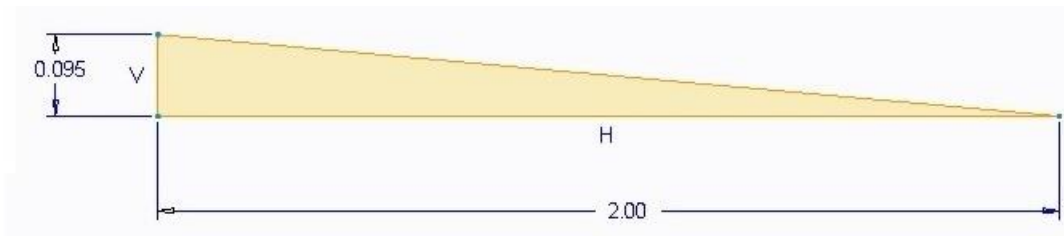


Fig. 30. Croquis escenari 5 amb metres

Càlcul del pendent suau de formigó. Mesures realitzades:

Diferència d'alçades = 9,5 cm

Longitud horitzontal = 200 cm

Pendent calculat: En percentatge (% vertical / horitzontal) = 4,75%.

6. **Escenari 6:** Terra amb pendent **32%**.



Fig. 31. Escenari 6 amb terra

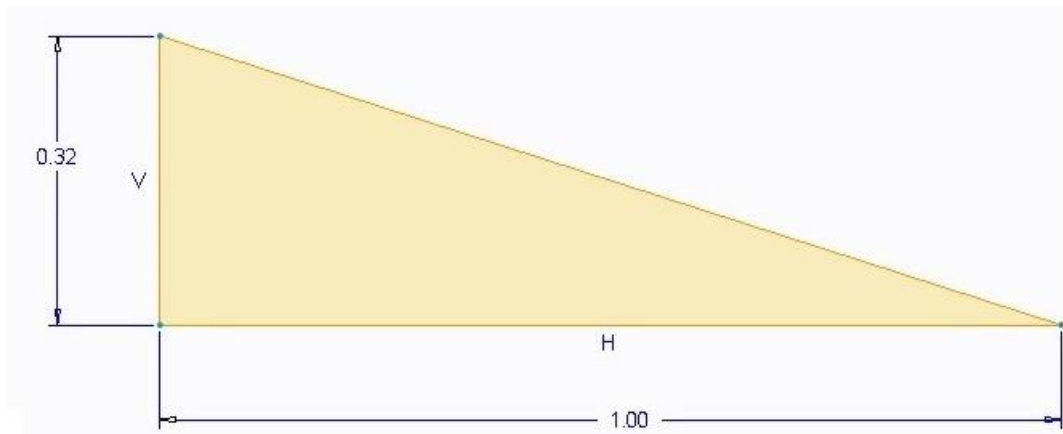


Fig. 32. Croquis escenari 6 amb metres

Càlcul del pendent suau de formigó. Mesures realitzades:

Diferència d'alçades = 32 cm

Longitud horitzontal = 100 cm

Pendent calculat: En percentatge (% vertical / horitzontal) = 32%.

3.3 RESULTATS EXPERIMENTALS

Mitjançant la Taula 9 es poden observar els resultats obtinguts després de realitzar els assajos. Com és lògic, els casos més desfavorables en parlar de potència sorgeixen quan s'estudien els pendents més elevats amb les freqüències més grans. Mencionar també el cas sobre terra, amb un pendent de 4,75% a 50 Hz on el consum també és molt elevat.

Conclusions: els casos més desfavorables per la plataforma són els següents:

- Terra: pendent de 4,75% a 50 Hz.
- Terra: pendent de 32% a 25 Hz.
- Terra: pendent de 32% a 50 Hz.

Tots són sobre terra, òbviament el pendent més elevat sobre terra és major que el pendent més elevada al formigó, i amb freqüències altes. Les potències més desfavorables tenen una magnitud aproximada de 3800 W.

Taula 9. Resultats experimentals

Escenari	Freq. (Hz)	$2 \cdot I_1$ (A)	Dist. (m)	T (s)	V (m/s)	$2 \cdot S_1$ (VA)	$2 \cdot P_1$ (W)	$2 \cdot P_2$ (W)
Formigó: pendent 0%	10	0,74	50	199	0,3	513	513	508
Formigó: pendent 0%	25	1,5	50	79	0,6	1039	1039	1029
Formigó: pendent 0%	50	2,98	50	39	1,3	2065	2065	2044
Formigó: pendent 4,5%	10	0,84	-	-		582	582	576
Formigó: pendent 4,5%	25	1,72	-	-		1192	1192	1180
Formigó: pendent 4,5%	50	3,2	-	-		2217	2217	2195
Formigó: pendent 22%	10	1,22	-	-		845	845	837
Formigó: pendent 22%	25	1,72	-	-		1192	1192	1180
Formigó: pendent 22%	50	3,2	-	-		2217	2217	2195
Terra: pendent 0%	10	0,9	50	199	0,3	624	624	617
Terra: pendent 0%	25	1,85	50	78	0,6	1282	1282	1269
Terra: pendent 0%	50	3,2	50	39	1,3	2217	2217	2195
Terra: pendent 4,75%	10	1	-	-		693	693	686
Terra: pendent 4,75%	25	2,38	-	-		1649	1649	1632
Terra: pendent 4,75%	50	4,24	-	-		2938	2938	2908
Terra: pendent 32%	10	1,76	-	-		1219	1219	1207
Terra: pendent 32%	25	4,4	-	-		3048	3048	3018
Terra: pendent 32%	50	5,6	-	-		3880	3880	3841

Com es pot observar a la Fig. 33 la relació velocitat – freqüència és lineal i creixent, és a dir, com s’ha esmentat anteriorment, com més alta sigui la freqüència a més velocitat treballa la plataforma. Pràcticament les dues línies són idèntiques, fet produït degut al poc lliscament que permeten les erugues sobre aquests dos terrenys.

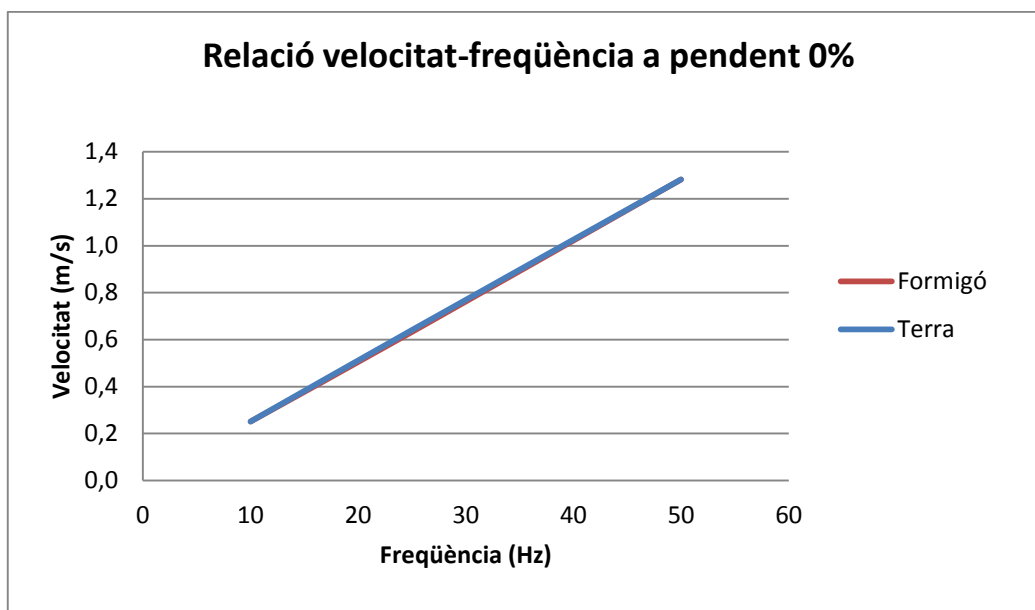


Fig. 33. Relació velocitat-freqüència amb una pendent 0%

La Fig. 34 mostra la potència en funció de la freqüència per cada escenari. La tendència que es pot observar és la següent:

- L’augment de la freqüència provoca un augment considerable de la potència. Això és degut a les corbes característiques del motor (Fig. 24) les quals tenen una relació V/Hz, per tant, en augmentar la freqüència augmenta la intensitat i proporcionalment augmenta la potència.
- Com més pendent més potència. La força que ha de vèncer, la qual es provocada per la pendent, és més gran com més pendent hi ha, per tant, el parell serà més elevat, implicant un augment d’intensitat i de la potència.

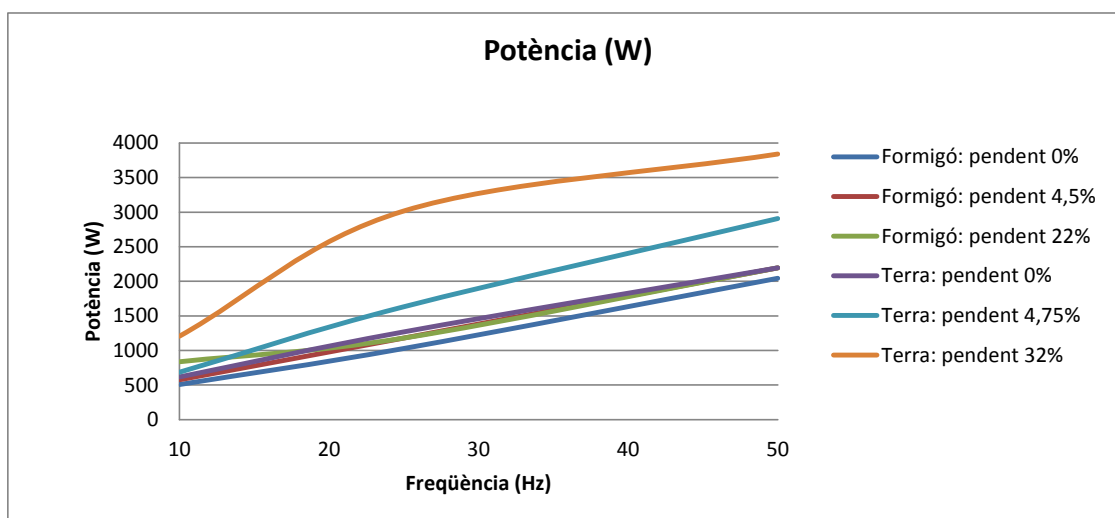


Fig. 34. Gràfica potència (W) en funció de la freqüència

3.4 RESULTATS ANALÍTICS

A continuació es pot observar l'esquema a partir del qual es realitzaran els diferents càlculs per poder realitzar la posterior comparació amb els valors experimentals obtinguts en l'apartat anterior.

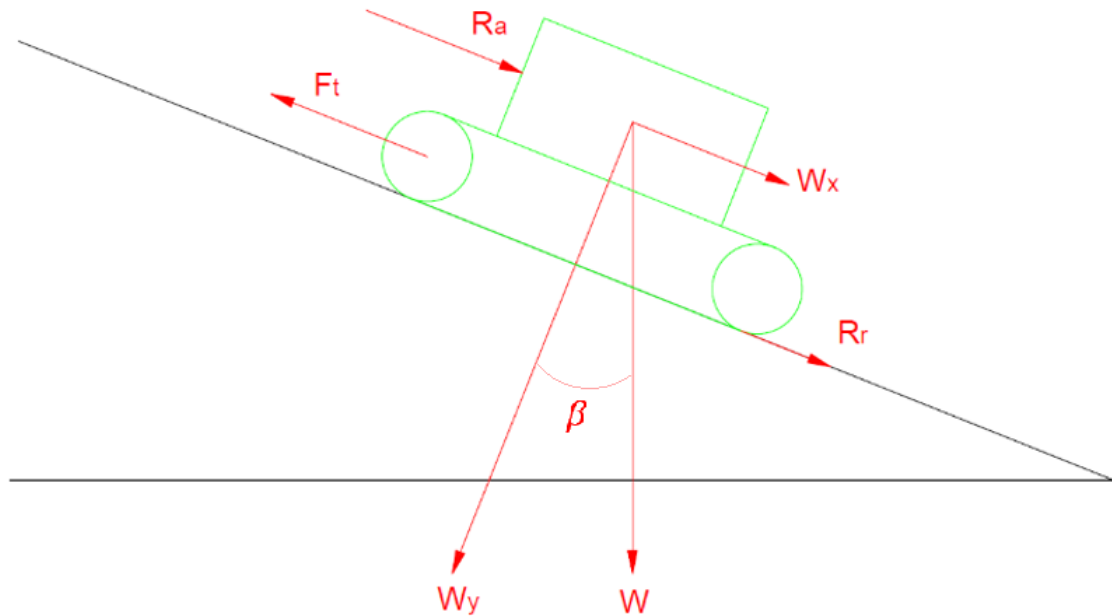


Fig. 35. Diagrama de les forces que actuen sobre la plataforma

Mitjançant la llei de Newton sobre les forces del dibuix obtenim la següent expressió:

$$F = m \cdot a \quad (8)$$

$$F_t = W_x + R_r + R_a = m \cdot g \cdot (\sin \beta + \mu \cos \beta) \quad (9)$$

On F_t : Força de tracció generada per la plataforma.

W : Pes de la plataforma.

W_x : Component del pes de la plataforma paral·lel al terreny.

W_y : Component del pes de la plataforma perpendicular al terreny.

R_a : Força aerodinàmica degut al fregament amb l'aire.

R_r : Força de rodament degut al terreny.

β : Angle entre les forces W_y i W .

μ : Coeficient de rodament.

g : Acceleració de la gravetat, en aquest cas, $9,81 \text{ m/s}^2$.

Donat que la plataforma avançarà a velocitats relativament reduïdes s'admet que R_a és negligible obtenint:

$$W_x = W \cdot \sin \beta = m \cdot g \cdot \sin \beta \quad (10)$$

$$R_r = \mu \cos \beta \cdot W_y = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta \quad (11)$$

$$P_t = v \cdot F_t \rightarrow P_t \approx v \cdot m \cdot g \cdot (\sin \beta + \mu \cos \beta) \quad (12)$$

On P_t : Potència necessària per desplaçar la plataforma.

v : Velocitat de la plataforma.

L'equació 12 mostra que P_t i la massa tenen una relació directament proporcional. Amb aquesta relació s'obté una aproximació de la potència necessària quan la plataforma pateix una variació de pes degut a la implementació o eliminació dels seus components com es pot observar als següents capítols.

Els resultats analítics obtinguts són els següents:

Taula 10. Resultats analítics

Escenari	Pendent (DEG)	Pendent (RAD)	Freq. [Hz]	$2 \cdot I_1$ [A]	Dist [m]	T [s]	V [m/s]	$2 \cdot S_1$ [VA]	$2 \cdot P_1$ [W]	$2 \cdot P_{teòric}$ [W]	$P_1/P_{teòric}$
Formigó: pendent 0%	0	0,000	10	0,74	50	199	0,251	513	513	466	1,101
Formigó: pendent 0%	0	0,000	25	1,5	50	79	0,633	1039	1039	913	1,139
Formigó: pendent 0%	0	0,000	50	2,98	50	39	1,282	2065	2065	1849	1,117
Formigó: pendent 4,5%	4,5	0,079	10	0,84			0,251	582	582	667	0,873
Formigó: pendent 4,5%	4,5	0,079	25	1,72			0,633	1192	1192	1422	0,838
Formigó: pendent 4,5%	4,5	0,079	50	3,2			1,282	2217	2217	2879	0,770
Formigó: pendent 22%	22	0,384	10	1,22			0,251	845	845	1400	0,604
Formigó: pendent 22%	22	0,384	25	1,72			0,633	1192	1192	3289	0,362
Formigó: pendent 22%	22	0,384	50	3,2			1,282	2217	2217	6661	0,333
Terra: pendent 0%	0	0,000	10	0,9	50	199	0,251	624	624	569	1,095
Terra: pendent 0%	0	0,000	25	1,85	50	78	0,641	1282	1282	1122	1,142
Terra: pendent 0%	0	0,000	50	3,2	50	39	1,282	2217	2217	2245	0,988
Terra: pendent 4,75%	4,75	0,083	10	1			0,251	693	693	781	0,887
Terra: pendent 4,75%	4,75	0,083	25	2,38			0,633	1649	1649	1645	1,003
Terra: pendent 4,75%	4,75	0,083	50	4,24			1,282	2938	2938	3331	0,882
Terra: pendent 32%	32	0,559	10	1,76			0,251	1219	1219	1852	0,658
Terra: pendent 32%	32	0,559	25	4,4			0,633	3048	3048	4395	0,694
Terra: pendent 32%	32	0,559	50	5,6			1,282	3880	3880	8901	0,436

La última columna de la taula indica la relació entre la potència experimental P_1 (mesurada a l'entrada dels variadors de freqüència) i la potència teòrica $P_{teòrica}$ que s'hauria de subministrar als mateixos, calculada a partir de l'equació 11 i tenint en compte els rendiments estimats dels diferents components del sistema. Com es pot observar, els valors son bastant pròxims a excepció dels punts amb pendent més elevat.

Els coeficients de rodament s'han ajustat per tal que la potència teòrica i l'experimental fossin el més properes possible. També cal indicar que s'ha considerat una eficiència constant de 60% per tots els casos, resulta evident que a diferents parells-velocitats l'eficiència serà variable.

Taula 11. Aproximacions realitzades per als càlculs

Ajust experimental	Valor acceptat
Massa (kg)	630
Coeficient de rodament FORMIGÓ (10 Hz)	0,18
Coeficient de rodament FORMIGÓ (25 i 50 Hz)	0,14
Coeficient de rodament TERRA (10 Hz)	0,22
Coeficient de rodament TERRA (25 i 50 Hz)	0,17
Eficiència Reductor + Motor + V.F.	0,6

La Taula 11 mostra els valors utilitzats com a coeficients de rodament en els càlculs anteriors, els quals són bastant pròxims als coeficients obtinguts en bibliografia, que segons [14] variarien entre 0,07 i 0,12. Les discrepàncies que es produeixen són degudes a que, com s'ha comentat, la eficiència és variable i desconeguda (com demostren els resultats).

4 SISTEMA DE TRACCIÓ HÍBRID

En aquest capítol es planteja un sistema de tracció híbrid que es basarà en afegir una bateria de suport al grup electrogen actualment instal·lat i dels elements indispensables pel funcionament d'aquesta.

La bateria s'utilitzarà per entrar i treure la plataforma del laboratori evitant l'acumulació de gasos en el mateix o bé, per fer mesures limitades (ex. una sola fila d'arbres). És a dir, la idea és convertir el sistema actual de la plataforma automotriu en un sistema híbrid.

La bateria d'aquest sistema híbrid es pot escollir a partir de limitacions del pes. La finalitat d'aquest capítol és intentar reduir el pes total dels elements nous (carregador + bateria + inversor) a menys de 100 kg. Un cop escollida la bateria ja es determinarà l'autonomia.

Donat que l'increment de pes no és excessiu en relació al total de la plataforma (630 kg), es pot basar l'estudi en les mesures experimentals del capítol 3, sense tenir en compte l'increment de pes que suposarà l'addició dels nous elements.

4.1 ESTRUCTURA DEL SISTEMA

En aquest apartat s'estudien diferents solucions pel disseny del sistema elèctric de la plataforma. En primer lloc s'analitzen diverses opcions per carregar la bateria. En segon lloc, s'estudia com es poden alimentar els motors elèctrics mitjançant les bateries.

4.1.1 Càrrega de la bateria

Les diferents opcions estudiades per la càrrega de la bateria, tenint en compte els avantatges o inconvenients que pot aportar cadascuna, són les següents:

Opció 1: Càrrega les bateries directament de la xarxa, mitjançant un carregador de bateries.

Aquesta opció és molt simple, té un cost reduït i no desvia part de l'energia del grup, que possiblement ja va una mica just. A més, i primordialment, aquesta opció no obliga a engegar el grup cada cop que es vulgui carregar la bateria. La Fig. 36 mostra el diagrama de blocs corresponent:

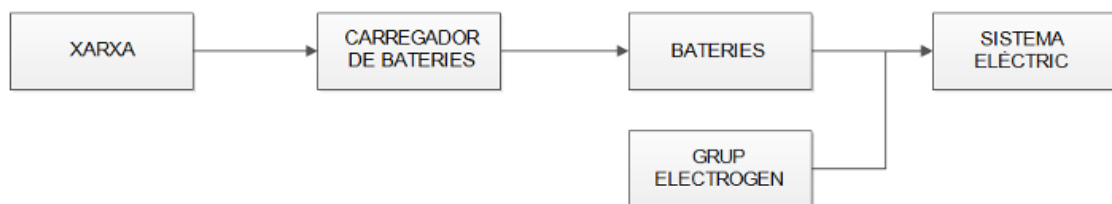


Fig. 36. Diagrama de blocs opció 1 per càrrega les bateries

Opció 2: Mitjançant el grup electrogen. Això es pot fer de diverses maneres :

1. Utilitzant la sortida CC del grup, en cas que en disposi

Aquesta és la manera més útil i econòmica. Consta senzillament de la **utilització de la sortida CC** del grup. En el cas de la plataforma, el grup electrogen és de la marca Honda GX240-GX390

concretament el model T16F-160, el qual **no te aquesta sortida**, per tant, és una **opció inviable** i queda automàticament descartada [15]. La Fig. 37 mostra el diagrama de blocs corresponent:



Fig. 37. Diagrama de blocs opció 2.1 per la càrrega de bateries

2. Incorporant un carregador de bateries / rectificador (regulador AC-CC)

La segona i última opció te dos inconvenients molt importants. El primer es basa en que el grup electrogen treballa pràcticament al límit, per tant, si es volgués **carregar la bateria mentre treballa podria portar problemes** i la plataforma no seria funcional. El segon és del caire econòmic; **els carregadors de bateria que actuen com inversors son elements molt cars**. La Fig. 38 mostra el diagrama de blocs corresponent:

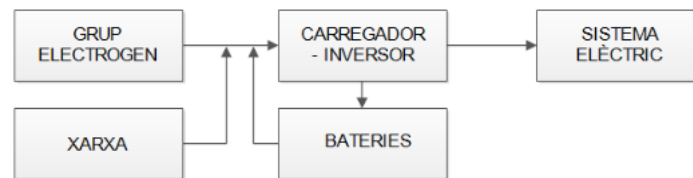


Fig. 38. Diagrama de blocs opció 2.2 per la càrrega de bateries

Així doncs, l'opció més adequada serà la instal·lació d'un carregador de bateries.

4.1.2 Alimentació dels motors amb les bateries

La segona situació d'estudi es centra en el pas del corrent des de les bateries fins als motors [3]. Aquí es va realitzar un estudi de dos possibles opcions:

Opció 1: Accedint al bus CC del variador de freqüència

Aquesta és la primera opció que es va estudiar. L'avantatge que aporta és molt clar: baix cost econòmic gracies a l'aprofitament del variador. El problema sorgeix degut a que el variador de freqüència instal·lat, concretament el variador utilitzat és de la sèrie SD250 de Power Electronics, model SD25312, no consta d'una senyal o bus de CC pura, tot i així, el bus de CC al qual es podria accedir treballa amb **tensions d'entre 180 V – 400 V**, valors massa elevats i que suposaria la instal·lació de moltes bateries en sèrie i/o d'un regulador, per tant, costos molt elevats. A més a més, el variador esmentat funciona a partir **d'un senyal d'entrada**, la qual, si s'aconseguís accedir al bus de CC s'evitaria i per tant el variador no començaria a funcionar. La Fig. 39 mostra l'esquema corresponent:

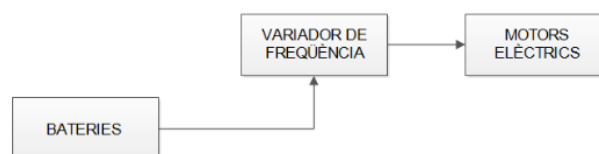


Fig. 39. Diagrama de blocs de l'opció 1 per alimentar els motors

Opció 2: Mitjançant la instal·lació d'un inversor o ondulador

La Fig. 40 mostra l'esquema corresponent:

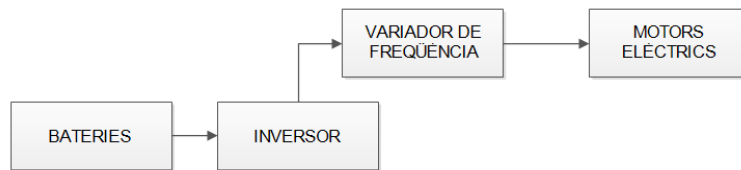


Fig. 40. Diagrama de blocs de l'opció 2 per alimentar els motors

En aquest cas l'opció escollida és la segona, mitjançant la instal·lació d'un inversor o ondulador. Pel que fa a la primera opció, el problema és que el variador esmentat funciona a partir d'un **senyal d'entrada**, la qual, si s'aconseguís accedir al bus de CC s'evitaria i per tant el variador no començaria a funcionar, per això, aquesta opció queda descartada.

Així doncs, la instal·lació estarà formada per un inversor i aquest anirà connectat a l'entrada del variador de freqüència.

4.2 CRITERIS I ELECCIÓ DE L'INVERSOR

L'inversor és l'element encarregat de realitzar la connexió entre la bateria amb el variador de freqüència. Aquest procés es realitza, com s'ha comentat anteriorment, mitjançant la transformació del corrent continu aportat per les bateries a corrent altern.

Per tant, per poder determinar la bateria necessària és important tenir clares les característiques específiques que ha de tenir l'inversor escollit. El primer factor que s'ha de tenir en compte per realitzar aquesta elecció són les potències a l'entrada (corrent continu) i a la sortida (corrent altern) d'aquest:

$$P_{AC} = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 \quad (13)$$

On: P_{AC} és la potència teòrica a l'entrada del variador de freqüència.

V_1 és la tensió a l'entrada del VF i són 400 V (Fig. 27).

I_1 és la intensitat a l'entrada del VF.

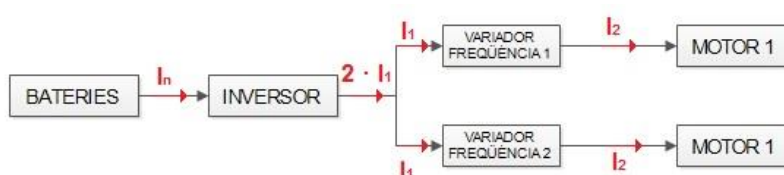


Fig. 41. Esquema corrents del sistema

Les intensitats calculades són les següents:

Taula 12. Corrent del sistema

Element	$2 \cdot I_2$ (A)	$2 \cdot I_1$ (A)	Tipus
Motors	3,2	-	AC
Variadors	-	3,2	AC

Es considera un valor de I_1 igual a 1,6 A per cada motor, corresponent al cas experimental on l'escenari és de terra amb un pendent 0% a màxima velocitat (50 Hz). Aquest escenari es considera força realista pel treball que es preveu que realitzi la plataforma. A més a més, aquest corrent supera el requerit amb una pendent de 4,75% a una velocitat de 0,6 m/s (25 Hz).

La intensitat a la sortida de l'inversor serà pràcticament igual a la que hi ha a l'entrada dels motors perquè com s'ha comentat anteriorment el rendiment del variador de freqüència és aproximadament 1.

Aleshores, un cop es coneix la intensitat de l'inversor es pot calcular la potència a la sortida de l'inversor (CA). Aquesta és:

$$P_{AC} = \sqrt{3} \cdot V_1 \cdot I_1 = 2217 \text{ W}$$

Conclusió: l'inversor necessita una potència de sortida aproximadament de 4.000 W.

Com que el rendiment de l'inversor es molt pròxim a 1, es pot determinar que:

$$P_{AC} = P_{DC} \quad (14)$$

On: P_{AC} és la potència a la sortida de l'inversor (corrent altern).

P_{DC} és la potència a l'entrada de l'inversor (corrent continu).

Coneixent que:

$$P_{DC} = V_n \cdot I_n \rightarrow I_n = \frac{P_{DC}}{V_n} \quad (15)$$

On: V_n és la tensió a l'entrada de l'inversor (CC).

I_n és el corrent a l'entrada de l'inversor (CC).

Els resultats obtinguts es poden observar a la Taula 13. Les tensions V_n de 24 i 48 V venen imposades per les bateries i són valors normalitzats.

El càlcul de I_n (A) és realitza a partir de la següent equació:

$$I_n = \frac{P_{AC}}{V_n} \quad (16)$$

L'elecció de l'inversor de 48V provocarà que la bateria necessiti una capacitat inferior que si l'inversor fos de 24V. També és cert que al moment d'escollir una tensió de 48 V es provoca que el número de bateries en sèrie sigui més elevat que amb l'altre.

A continuació és realitzen dos estudis paral·lels per decidir quin dels dos casos és més rentable a l'hora de dimensionar el sistema.

Taula 13. Corrents d'entrada a l'inversor segons la tensió d'entrada

Element	V_n (V)	I_n (A)
Inversor 24 V	24	92
Inversor 48 V	48	46

El valor I_n (A) de la Taula 13 es calcula a partir de l'aplicació de les equacions 14, 15 i 16.

4.2.1 Inversor escollit

L'inversor trifàsic SOLENER 24/48 V (Annex 2) és una possible solució pel sistema de la plataforma automotriu. La seva potència és suficient pel funcionament d'aquesta i el seu **valor pic** (potència d'arrancada o en certs moments de gir) és el doble de la potència per seguir en marxa una vegada arrancat. Òbviament és un element **trifàsic** el qual treballa a una freqüència de **50 Hz**. Les seves dimensions són de 535 x 178 x 285 mm amb un pes de **36 kg**. El seu preu és de **2.744€**.

Taula 14. Característiques de l'inversor seleccionat

Potència nominal (W)	4000
Tensió nominal entrada (V)	24 / 48
Tensió sortida trifàsic (V)	400
Longitud (mm)	535
Altra (mm)	178
Amplada (mm)	285
Pes net (kg)	36

L'elecció d'aquest element respon a la millor relació potència-preu en relació a inversors similars, com es pot observar a la Taula 15. La potència més adequada són uns 4.000 W, doncs 3.000 W és un valor massa just tenint en compte els pics de potència que pot demandar la plataforma. Un inversor amb una potència de 6.000 W és un sobre dimensionament, fet que implica un sobre cost sense aportar cap benefici. També comentar que, donat que la plataforma podrà treballar en alguna ocasió a 40°C (i, fins i tot, a més temperatura), l'inversor assegura encara 2000 W, valor superior a la potència màxima demandada en el cas més desfavorable.

Taula 15. Comparativa de diferents inversors CC-CA

Marca	PAN POWER	POWER SELECT	POWER SELECT	SOLENER
Voltatge entrada (V_{DC})	48	48 - 250	24 - 250	24 - 48
Voltatge sortida (V_{CA})	220 - 400	380 - 400	208 - 400	400
Potència (VA)	6.000	6.000	3.000	4.000

4.3 CRITERIS I ELECCIÓ DE LA BATERIA

Com s'ha esmentat a l'inici d'aquest capítol el paràmetre que limita l'elecció de la bateria és el pes. Com a paràmetre secundari s'ha de tenir en compte l'autonomia mínima requerida per la plataforma per realitzar les operacions d'entrada i sortida del garatge o monitoritzar una fila d'arbres (aprox. 20 minuts).

4.3.1 Elecció de la bateria

Quan es compren bateries el distribuïdor facilita les especificacions tècniques del producte, n'hi ha dos que són essencials pel càlcul de la bateria que es vol realitzar: **capacitat de subministrament (Ah)** i **voltatge (V)**.

Realitzant el símil de la plataforma amb una carretó elevadora o un cotxet de golf i realitzant un estudi dels seus components es pot observar que el tipus de bateria que es necessita per les prestacions de la plataforma són bateries elèctriques de tracció. Aquestes bateries donen un valor típic de C_5 [16]. Per entendre aquest argument a continuació es pot visualitzar amb un exemple pràctic:

Una bateria amb una capacitat de 500 Ah en cinc hores (C_5) pot donar 100 A cada hora. Si la mateixa bateria és descarregada a 200 A, només subministrarà corrent durant dues hores, és a dir, tindrà una capacitat de 400 Ah en dues hores. La raó d'això és que a alts règims, la caiguda de voltatge és més ràpida i, en conseqüència, el voltatge final de càrrega s'aconsegueix més ràpidament com es pot observar a la Fig. 42.

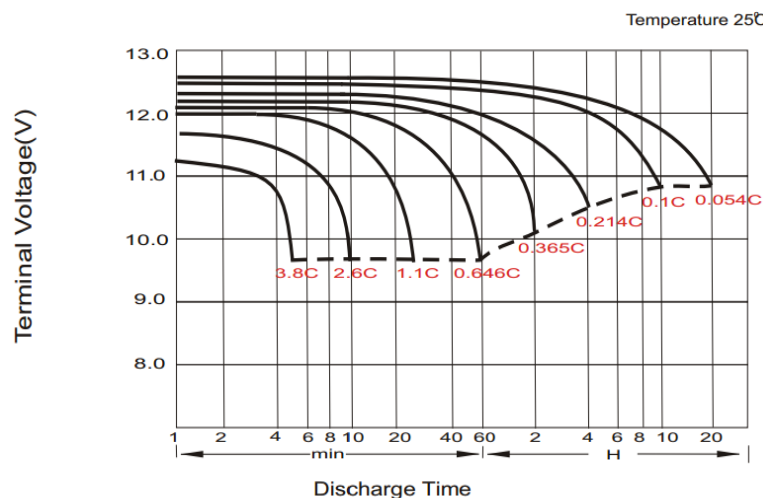


Fig. 42. Gràfica V/h d'una bateria on cada corba correspon a una corrent de descàrrega

Un altre paràmetre important és la **profunditat de descàrrega** (Deep of discharge, DoD). Aquesta determina la vida útil de la bateria. Per tant, segons la vida útil que es pretén que tingui la plataforma s'ha de fer el càlcul corregit de la capacitat amb un DoD (%) segon el seu ús. Depenent de la construcció i l'ús, la vida útil d'una bateria varia d'uns pocs anys fins a un màxim de 10 anys o més [17].

No es recomana descarregar una bateria de tracció totalment a cada cicle de descàrrega, i habitualment, els fabricants aconsellen treballar amb DoD inferiors al 80%. Aquest fet incrementa el nombre de cicles disponibles de càrrega i descàrrega (vida útil) i, a més a més, manté la capacitat durant més temps. Amb un DOD del 80%, les bateries de tracció tenen normalment una vida útil de 1.200 cicles. Suposant que la plataforma tindrà una vida útil de 10 anys, són 150 cicles cada any, es a dir, 13 cicles cada mes. Aquest és una bona dada doncs les perspectives d'ús de la plataforma durant la seva vida no són tant elevades.

A la Taula 16 es mostren els càlculs corresponents a un primer dimensionat de la bateria. Com a punt de partida, es prenen diferents valors típics de capacitat (C_5) i s'obté en cada cas la intensitat nominal de descàrrega, corresponent a un període de 5 hores ($I_{desc-5h}$). Coneguda la intensitat de descàrrega real ($I_{desc-real}$), obtinguda en Taula 14, es calcula la relació entre aquests dos valors d'intensitat.

$$Relació\ Int. = \frac{I_{desc-5h}(A)}{I_{desc-real}(A)} \quad (17)$$

Segons [17], quan el corrent de descàrrega de la bateria augmenta un factor concret respecte la nominal, llavors la capacitat es redueix a un % de l'original. Per tant, la capacitat real de la bateria per aquesta corrent de descàrrega serà, un cop aplicat aquest factor, de:

$$C_{real} = C_5(Ah) \cdot k \quad (18)$$

Factor	5	2,5	1
k	40%	70%	100%

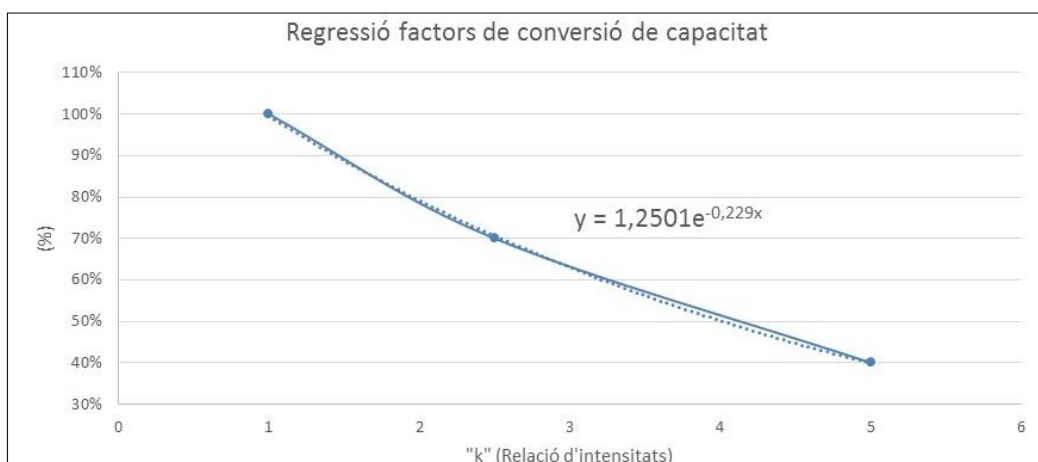


Fig. 43. Gràfic qualitatiu de la recta de regressió utilitzada pel càlcul del factor de capacitat

L'autonomia es calcula amb la relació de la capacitat real i la intensitat de descàrrega de l'inversor.

$$T(h) = \frac{C_{real}(Ah)}{I_{desc-real}(A)} \quad (19)$$

Per últim, l'anterior valor de l'autonomia es corregeix per a la profunditat de descàrrega (DoD del 80%), tal com es mostra en la següent expressió:

$$T_F(h) = T(h) \cdot DoD(\%) \quad (20)$$

Taula 16. Resultats de la relació I_{desc} – Capacitat per un inversor de 48 V

C_5 (Ah)	$I_{desc-5h}$ (A)	$I_{desc-real}$ (A)	Relació Int.	C_{real} (Ah)	T (h)	T (min)	T_F (min)
40	8,00	46	5,77	13	0,29	17	14
45	9,00	46	5,13	17	0,38	23	18
50	10,00	46	4,62	22	0,47	28	23
55	11,00	46	4,20	26	0,57	34	27
60	12,00	46	3,85	31	0,67	40	32
65	13,00	46	3,55	36	0,78	47	37
70	14,00	46	3,30	41	0,89	53	43
75	15,00	46	3,08	46	1,00	60	48
80	16,00	46	2,89	52	1,12	67	54

Taula 17. Resultats de la relació I_{desc} – capacitat per un inversor de 24 V

C_5 (Ah)	$I_{desc-5h}$ (A)	$I_{desc-real}$ (A)	Relació Int.	C_{real} (Ah)	T (h)	T (min)	T_F (min)
75	15,00	92	6,16	23	0,25	15	12
80	16,00	92	5,77	27	0,29	17	14
85	17,00	92	5,43	31	0,33	20	16
90	18,00	92	5,13	35	0,38	23	18
95	19,00	92	4,86	39	0,42	25	20
100	20,00	92	4,62	43	0,47	28	23
105	21,00	92	4,40	48	0,52	31	25
110	22,00	92	4,20	53	0,57	34	27
115	23,00	92	4,02	57	0,62	37	30

El paràmetre important és la C_{real} , la qual es calcula a partir de la “Relació Int.” que és la relació entre la intensitat de descàrrega real i la intensitat de descàrrega amb 5 hores (C_5). A partir d'aquesta relació, segons [17], es poden aplicar uns factors de correcció sobre la capacitat inicial (C_5) per trobar la C_{real} .

La Taula 16 i Taula 17 indiquen que la bateria de tracció escollida necessita una capacitat aproximada de 50 Ah quan es tracta d'un sistema amb un inversor de 48 V i una bateria de 100

Ah quan es tracta d'un sistema amb un inversor de 24 V. Aquest valors són escollits a partir de la previsió de funcionament de la plataforma, la qual necessitarà les bateries durant uns 20 minuts per realitzar les funcions esmentades anteriorment.

A continuació es pot observar un estudi de diferents bateries en l'interval de capacitats establert anteriorment. El voltatge d'aquestes és de 12 V degut a que les bateries amb un voltatge de 6 V són bateries amb capacitats bastant més elevades que el rang establert.

Tampoc es poden utilitzar bateries de 24 V degut a que les seves capacitats normalment venen expressades amb C_{100} i, per tant, en principi no són les més ideals per aquesta aplicació. A més a més, econòmicament són més desfavorables que les de 12 V.

La Taula 18 mostra la relació de bateries estudiades suposant la prèvia instal·lació d'un inversor de 48 V. Els factors limitadors són el pes i el preu:

Taula 18. Estudi bateries per un sistema amb un inversor de 48 V

Marca	NBA	TUDOR	BOSC	TROJAN
Model	3LT12N	FF12060	L5 Cíclica	24TMX
Voltatge (V)	12,00	12,00	12,00	12,00
Capacitat (Ah)	57,00	60,00	60,00	70,00
Vida útil (cicles)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00
Longitud (mm)	278,00	278,00	242,00	286,00
Amplada (mm)	175,00	175,00	175,00	171,00
Altura (mm)	190,00	190,00	190,00	248,00
Pes (kg)	19,30	20,00	17,00	21,00
Preu (€)	129,95	215,90	161,78	137,94

Unitats (ud.)	4	4	4	4
Pes_{total} (kg)	77,20	80,00	68,00	84,00
Preu_{total} (€)	519,80	863,60	647,12	551,76

Les bateries de tracció instal·lades a la plataforma automotriu, en el cas d'escollir un inversor de 48 V, podrien ser 4 unitats amb sèrie de la marca **NBA** concretament el model **3LT12N**. De totes les bateries estudiades és la que té millor relació preu-pes respecte les altres, per això, és la bateria escollida. Aquesta bateria aportaria a la plataforma una autonomia d'uns 20 minuts aproximadament.



Fig. 44. Bateria NBA 3LT12N

La Taula 19 mostra la relació e bateries estudiades suposant la instal·lació d'un inversor de 24 V. Només les bateries de Pb-Àcid són acceptables fent referència al limitador econòmic, tot i això, les Pb-Àcid del tipus GEL, són bateries més pesades i cares, tal i com es pot observar amb la bateria de la marca Sonnenschein. La Taula 20 mostra bateries del tipus Li-ió, les quals, com es pot observar, són excessivament cares tot i que la seva vida útil sigui el doble:

Taula 19. Estudi bateries per un sistema amb un inversor de 48 V

Marca	NBA	TROJAN	Tudor	Sonnenschein
Model	4TG12N	30XHS	FF12105	GF12105V
Voltatge (V)	12,00	12,00	12,00	12,00
Capacitat (Ah)	90,00	105,00	105,00	105,00
Vida útil (cicles)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00
Longitud (mm)	345,00	355,00	513,00	345,00
Amplada (mm)	170,00	171,00	189,00	172,00
Altura (mm)	235,00	256,00	223,00	283,00
Pes (kg)	28,70	30,00	45,50	40,00
Preu (€)	207,95	197,23	348,60	532,20

Unitats (ud.)	2	2	2	2
Pes _{total} (kg)	57,40	60,00	91,00	80,00
Preu _{total} (€)	415,90	394,46	697,20 €	1.064,40

Taula 20. Possibles bateries tipus Li-ió per un sistema amb un inversor de 24 V

Model	CLAYTON 12V	CLAYTON 24V
Voltatge (V)	12	24
Capacitat (Ah)	100	100
Vida útil (cicles)	3000	3000
Longitud (mm)	192	192
Amplada (mm)	274	274
Altura (mm)	301	558
Pes (kg)	21	38
Preu (€)	1.875	3.170

Unitats (ud.)	4	2
Pes_{total} (kg)	84	76
Preu_{total} (€)	7.500	6.340

Les bateries de tracció instal·lades a la plataforma automotriu, en el cas d'escollir un inversor de 24 V, són 2 unitats amb sèrie de la marca **TROJAN** concretament el model **30XHS** (Annex 3). De totes les bateries estudiades és la que té millor relació preu-pes respecte les altres, inclòs una capacitat més alta, per això, és la bateria escollida. Aquesta bateria aportaria a la plataforma una autonomia d'uns 20 minuts aproximadament.



Fig. 45. Bateria TROJAN 30XHS

4.4 CRITERIS I ELECCIÓ DEL CARREGADOR

L'elecció del carregador de la bateria queda restringida per la mateixa bateria. Òbviament es necessita un carregador convencional per bateries industrials de plom-àcid. La connexió d'aquest a la xarxa és indiferent, ja que al laboratori on es troba la plataforma es disposa de sortida monofàsica i trifàsica. El carregador hauria de ser recomanable per les bateries de 50 Ah (C_5) quan es tracta d'un sistema amb un inversor de 48 V i per a bateries de 100 Ah (C_5) quan es tracta d'un sistema amb un inversor de 24 V.

El carregador pel primer dels casos, es a dir, per la bateria NBA de 57 Ah, és de la marca **Mastervolt**, concretament el model carregador **Mass 48/25**. El voltatge d'entrada d'aquest és $230V_{ac}$ i la tensió de sortida és de 48 V.



Fig. 46. Carregador Mastervolt Mass 48/25

El carregador escollit compleix tots aquests requeriments i te un cost de **549,00€**. El temps de càrrega es trobarà sobre les 5 hores aproximadament.

El carregador per la bateria TROJAN de 105 Ah, és també de la marca **Mastervolt**, concretament el model **ChargeMaster 24/20-3** (Annex 4). El voltatge d'entrada d'aquest és $230V_{ac}$ i la tensió de sortida és de 24 V.



Fig. 47. Carregador Mastervolt ChargeMaster 24/20-3

El carregador escollit compleix tots aquests requeriments i te un cost de **699,00€**. El temps de càrrega es trobarà sobre les 3 hores aproximadament, un temps bastant acceptable, però cal recordar que com més lenta sigui la càrrega més llarga serà la vida útil de la bateria.

4.5 RESULTATS

A continuació es pot observar una taula resum dels dos casos presentats. Aquestes taules mostren els elements incorporats al dimensionament amb els diferents pesos i preus de cadascun.



Taula 21. Resum dels dos dimensionaments del sistema híbrid

SISTEMA HÍBRID INVERSOR 48 V			
Elements	Unitats	Pes (kg)	Preu (€)
Inversor SOLENER	1	36,00	3.069,79
NBA 3LT12N	4	77,20	519,80
Mastervolt Mass 48/25	1	-	549,00
TOTAL		113,20	4.138,59

SISTEMA HÍBRID INVERSOR 24 V			
Elements	Unitats	Pes (kg)	Preu (€)
Inversor SOLENER	1	36,00	3.069,79
Trojan 30XHS	2	60,00	394,46
Mastervolt ChargeMaster 24/20-3	1	-	699,00
TOTAL		96,00	4.163,55

Fent referència a l'inici de l'apartat, aquest te com a finalitat dimensionar un sistema híbrid aconseguint no augmentar el pes de la plataforma automotriu en més de 100 kg. Així doncs, l'únic cas que compleix aquest requeriment és el dimensionament que inclou un inversor amb una tensió de 24 V. Respecte l'àmbit econòmic, les dos situacions tenen una magnitud aproximada, no obstant, s'ha d'esmentar que la varietat de carregadors és molt elevada i, per tant, el preu d'aquest segur que amb una cerca molt exhaustiva es pot reduir.

5 SISTEMA DE TRACCIÓ ELÈCTRIC AC

En aquest capítol és realitzarà l'estudi del sistema amb motors de AC, comprovant si es possible el seu funcionament només amb bateries i, per tant, eliminant el grup electrogen.

Els elements indispensables pel funcionament d'aquest sistema són:

- Bateria
- Inversor
- Variador de freqüència
- Motor AC

En aquest cas, l'estudi s'ha realitzat a partir dels variadors de freqüència i els motors AC que hi ha instal·lats actualment. D'aquesta manera s'han pogut aprofitar les dades experimentals obtingudes als assajos.



Fig. 48. Diagrama de blocs del sistema totalment elèctric amb motors AC

Aquest fet implica que l'elecció de l'inversor sigui el mateix que ha sigut escollit al capítol 4, és a dir, l'inversor de la marca SOLENER, ja que aquesta elecció es basa amb la potència requerida i és independent del paràmetre de l'autonomia.

A més a més, mentre que al capítol 4, sistema híbrid, aquest inversor es pot considerar que està sobre-dimensionat, no succeeix el mateix pel cas del sistema AC presentat en el present capítol. En aquest sentit s'ha de tenir en compte que la plataforma no mantindrà el grup electrogen de suport i, per tant, cal que l'inversor sigui capaç d'afrontar tots els possibles sobreintensitats que esdevinguin.

L'augment de pes tan considerable que es produirà, degut bàsicament a les bateries, implica que s'hagin de corregir les dades experimentals presentades en el capítol 3. Els factors de correcció corresponents s'obtenen a partir de les relacions trobades en l'apartat 3.4.

5.1 CRITERIS I ELECCIÓ DE LA BATERIA

En aquest capítol, al substituir el sistema actual per un sistema totalment elèctric, per escollir les bateries primer cal dimensionar els seus paràmetres a partir de l'anàlisi experimental i de la determinació de l'autonomia. L'autonomia deixa de ser una variable per passa a ser el paràmetre més important.

5.1.1 Autonomia

El primer pas abans de realitzar qualsevol càlcul és determinar l'autonomia que interessa que tingui la plataforma per realitzar les seves tasques.

És important diferenciar també entre els dos possibles procediments que pot arribar a realitzar la plataforma, ja sigui l'assaig de tota una parcel·la o escanejos puntuals d'una parcel·la. Aquesta

primera pot durar fins a 75 minuts (1 hora i quart) mentre que la segona opció pot durar entre 10-30 minuts aproximadament.

Agafant el cas més desfavorable (1 hora i quart) i aplicant un coeficient de seguretat per evitar possibles deficiències de bateria en un moment donat, es pot preveure **una autonomia aproximadament de 2 hores**.

5.1.2 Elecció de la bateria

Anàlogament al capítol 4, és important tenir en compte la profunditat de descàrrega. Els dos paràmetres importants que ens aporten els fabricants són la **capacitat de subministrament (Ah)** i el **voltatge (V)**.

Així doncs, les variables inicials establertes són les següents:

- Autonomia: 2 hores.
- Corrent nominal de l'inversor (I_n), calculada a l'apartat 4.2.

A partir de les dues variables anteriors, es calcula la capacitat de la bateria (C).

Taula 22. Corrent nominals segons inversor

Element	V_n (V)	I_n (A)	Aut. (h)	C_2 (Ah)
Inversor 24 V	24	92	2	185
Inversor 48 V	48	46	2	92

Al tractar-se de bateries de tracció no es recomana descarregar-la totalment a cada cicle de descàrrega, s'ha de procurar treballar al 80% de la capacitat de la bateria. Aquest fet incrementa el número de cicles disponibles de càrrega i descàrrega (vida útil), a més a més, manté la capacitat durant més temps. Anàlogament al capítol 4, pel càlcul de la bateria s'utilitza un DoD (%) del 80%.

$$C_{2-80\%} = \frac{C_2}{0,8} \quad (21)$$

Finalment, fa falta aplicar un factor de relació entre les capacitats C_5 i C_2 , ja que els càlculs anteriors són les capacitats que es necessiten per 2 hores i, normalment, els fabricants indiquen la capacitat de la bateria de tracció per 5 hores. Aquest factor és aproximadament del 70% segons s'indica en [17].

$$C_{5f} = \frac{C_{2-80\%}}{0,7} \quad (22)$$

Aplicant les equacions 21 i 22 s'obtenen les següents capacitats:

Taula 23. Capacitats C_2 i C_5 per la instal·lació

Element	$C_{2-80\%}$ (Ah)	C_{5f} (Ah)
Inversor 24 V	231	330
Inversor 48 V	115	165

Per assolir la potència mínima de 2.195 W (extreta de la Taula 9) la capacitat de les bateries hauria de ser aproximadament de 330 Ah si la tensió nominal de l'inversor és de 24 V o de 165 Ah si la tensió nominal de l'inversor és de 48 V. Les bateries de Liti i les seves variants són les que ofereixen més prestacions però, novament, el seu preu és molt elevat respecte les bateries de Pb-Àcid i per tant queden descartades.

Tots aquest càlculs estan realitzats suposant que el pes de la plataforma és constant (630 kg) tot i els canvis que es produeixen durant el dimensionament d'aquest capítol. Per tant, és necessari realitzar una aproximació de la capacitat calculada a la capacitat que necessitarà el nou sistema a partir de la relació entre el pes de les dos situacions.

La Taula 24 mostra, aproximadament, el pes final de la plataforma automotriu un cop realitzat el dimensionament. El pes de les bateries s'ha calculat a través d'un procés iteratiu considerant diferents tipus de bateries:

Taula 24. Relació dels elements a partir del pes (inversor de 48 V)

Element	Pes (kg)
Plataforma	630,0
Elements afegits	[+]
Inversor	36,0
Bateries	350,0
Elements eliminats	[-]
Grup electrogen Honda GX240-GX390	- 70,0
PES TOTAL	946,0

Així doncs, el factor comparatiu entre els dos sistemes és aproximadament de 1,50. Com que la capacitat requerida per un pes inicial de 630kg és de 165 Ah, aplicant el factor s'obté una **capacitat final de 248 Ah**.

A continuació es llisten especificacions de diferents bateries adaptables a l'inversor 48 V i, per tant, bateries amb **capacitat (C_5) de 248 Ah**.

Taula 25. Estudi bateries per un sistema totalment elèctric AC amb un inversor de 48 V

Marca	TROJAN	NBA	Sonnenschein
Model	J305P-AC	4SGH240	GF06240V
Voltatge (V)	6,00	6,00	6,00
Capacitat (Ah)	271,00	240,00	240,00
Vida útil (cicles)	1200,00	1200,00	1200,00
Longitud (mm)	295,00	246,00	312,00
Amplada (mm)	178,00	198,00	190,00
Altura (mm)	365,00	360,00	359,00
Pes (kg)	44,00	47,40	48,00
Preu (€)	281,93	302,97	337,22

Unitats (ud.)	8	8	8
Pes_{total} (kg)	352,00	379,20	384,00
Preu_{total} (€)	2.255,44	2.423,76	2.697,76

La solució per aquest dimensionament amb un inversor de 48 V podria ser la bateria de la marca **TROJAN** model **J305P-AC** (Annex 5), la qual compleix amb tots els requisits. A part de ser la que més s'aproxima a la capacitat desitjada és la que millor preu presenta.



Fig. 49. Bateria TROJAN J305P-AC

Els càlculs de la Taula 26 són idèntics als de la Taula 24 però en aquest cas utilitzant un inversor de 24 V, és a dir, es necessiten quatre bateries amb una capacitat i pes superiors al cas anterior.

La situació el pes de les bateries també s'ha calculat a través d'un procés iteratiu considerant diferents tipus de bateries:

Taula 26. Relació dels elements a partir del pes (inversor de 24 V)

Element	Pes (kg)
Plataforma	630,0
Elements afegits	[+]
Inversor	36,0
Bateries	580,0
Elements eliminats	[-]
Grup electrogen Honda GX240-GX390	- 70,0
PES TOTAL	946,0

Així doncs, el factor comparatiu entre els dos sistemes és aproximadament de 1,87. Com que la capacitat requerida per un pes inicial de 630kg és de 330 Ah, aplicant el factor s'obté una **capacitat final de 616 Ah**.

El pes aproximat de les bateries d'aquesta capacitat és d'uns 150 kg i tenen un cost pròxim als 1.000€ cada una. Aquest fet provoca que el cost final dels sistema elèctric AC utilitzant un inversor de 24V sigui més elevat que utilitzant un inversor de 48V i per aquest motiu, es descarta aquesta opció.

5.2 CRITERIS I ELECCIÓ DEL CARREGADOR

Com a l'apartat anterior, l'elecció del carregador de la bateria queda restringida per la mateixa bateria. Aquest apartat també necessita un carregador convencional per bateries industrials de plom-àcid. Anàlogament a l'apartat anterior, la connexió a la xarxa és indiferent. El carregador hauria de ser recomanable per les bateries de 250 a 350 Ah (C₅).

El carregador escollit és el mateix que al capítol 4, és a dir, el de la marca **Mastervolt**, concretament el model carregador **Mass 48/25** (Annex 6).

El carregador escollit compleix tots aquests requeriments i té un cost de **549,00 €**. El temps de càrrega es trobarà sobre 10 hores, un temps elevat, però cal recordar un altre cop que com més lenta sigui la càrrega més llarga serà la vida útil de la bateria. A més a més, un carregador amb una sortida de 48 V capaç de fer una càrrega de 50 Ah té n cost econòmic aproximat de més de 1.000€, evidentment, cost massa elevat.

5.3 RESULTATS

A continuació es pot observar una taula resum dels diferents components escollits per la instal·lació del nou sistema AC:



Taula 27. Elements del sistema AC

SISTEMA HÍBRID INVERSOR 48 V			
Elements	Unitats	Pes (kg)	Preu (€)
Inversor SOLENER	1	36,00	3.069,79
TROJAN J305P-AC	4	352,20	2.255,44
Mastervolt Mass 48/25	1	-	549,00
TOTAL		388,20	5.874,23

A diferència del sistema híbrid, les bateries són molt costoses i pesades, per tant, aquest fet provoca que aquesta opció tingui un cost molt més elevat. Per altra banda, eliminar el grup electrogen provoca una millora de soroll i contaminació ambiental.

6 ESTUDI DE L'ALIMENTACIÓ AMB UN SISTEMA FOTOVOLTAIC

En aquest apartat es realitza l'estudi del sistema que s'hauria d'instal·lar en cas de que les bateries fossin alimentades amb un sistema fotovoltaic. D'aquesta manera no es dependria de la xarxa i s'aprofitaria l'energia solar (energia renovable) i com a conseqüència un estalvi econòmic a la llarga. Es realitzen, també, els càlculs dels elements que formen aquest sistema i es valora si la seva aplicació es positiva o si no és viable.

Per realitzar l'estudi mitjanant un sistema fotovoltaic el primer paràmetre important a tenir en compte és la capacitat (Ah) de la bateria que volem carregar.

En aquest apartat es realitzaran els càlculs a partir dels valors del capítol 4, ja que es el sistema instal·lat a la plataforma automotriu.

Taula 28. Bateria instal·lada

Marca	TROJAN
Model	30XHS
Capacitat (Ah)	105
Tensió (V)	12

El següent paràmetre d'estudi es el temps del que es disposa per realitza la càrrega completa de la bateria. Degut a que la utilització de la plataforma mai serà durant 3 o 4 dies consecutius suposarem, en principi, que mínim es tindran **3 o 4 dies** per poder-la carregar. El temps que es necessita per carregar les bateries són **16 hores sol pic**⁴, les quals s'escullen com a paràmetre de disseny, per tal de carregar les bateries en uns 2,5 - 3 dies a l'estiu (situació més favorable) ja que a Lleida, un dia assolellat d'estiu pot tenir entre 6 i 7 hores sol pic aproximadament [7].

D'aquesta manera es pot determinar el corrent del carregador solar que es necessita, aquest serà la capacitat de la bateria entre el temps de càrrega.

$$\text{Corrent del carregador solar} = \frac{105 \text{ Ah}}{16 \text{ h}} = 6,56 \text{ A}$$

Apareixen pèrdues d'eficiència degudes a que les dades del fabricant són estudis normalment a 25°C, el sol no sempre és perpendicular a les plaques, etc.

Aquestes pèrdues es tenen en compte mitjançant un factor de seguretat del 30%, per tant:

$$\text{Corrent del carregador solar} = 6,56 \text{ A} * 1,3 = 8,52 \text{ A}$$

Per tant necessitem un carregador solar que proporioni més de 12 V i un amperatge una mica més elevat de 8,52 A. La tensió hauria d'estar entre 15 i 20 V perquè el regulador de càrrega solar pugui treballar amb aquesta tensió, injectant correctament a la bateria. La diferència de

⁴ L'hora solar pic (HSP) és una unitat que mesura la irradiació solar i es defineix com el temps en hores d'una hipotètica irradiació solar constant de 1000 W/m². Una hora solar pic equival a 3.6 MJ/m² o, dit d'una altra manera, 1 kWh/m².

voltatge entre la bateria de 12 volts i el panell solar és l'anomenat "potencial". És com un desnivell d'aigua perquè corri un corrent. Si no hi ha desnivell, no hi ha potencial i no hi ha corrent. Si el desnivell és massa pronunciat, l'aigua cau en cascada i és molt difícil aprofitar bé. Seguint aquest símil, el potencial entre el panell solar i la bateria no pot ser excessiu, perquè les coses es compliquen. Un voltatge massa elevat en el panell solar converteix el potencial en perillós, sobretot pel regulador de càrrega, que no pot transformar i podria fer-se malbé.

Això obliga a buscar un regulador de càrrega solar especial, d'alta gamma, amb el consegüent sobrecost.

Un cop introduïdes les variables principals es pot observar en l'esquema de la Fig. 50, mitjançant un diagrama de blocs, els elements que formarien aquest sistema fotovoltaic. Aquests són: el panell solar, el regulador i, finalment, la bateria.



Fig. 50. Diagrama de blocs del sistema fotovoltaic

Com s'ha comentat al principi de l'apartat, la bateria ve definida pel capítol 4. Pel que fa als possibles panells solar, a continuació es poden observar uns quants models que compleixen els requeriments esmentats anteriorment de corrent i voltatge.

Taula 29. Possibles panells solars

Marca	ATERSA	KYOCERA
Model	A-150P	KD140GH-2YU
Corrent punt potència màxima (A)	8,41	7,91
Tensió (V)	17,84	17,7
Pes (kg)	11,9	12,5
Àrea (m²)	0,97	1,00
Preu (€)	259,00	223,85

D'aquest models es pot extreure altres factors limitadors com són el pes i sobretot l'àrea que ocupa el panell. En aquest cas el panell escollit podria ser de la marca **ATERSA** concretament el **model A-150P** (Annex 7). A part de ser el més econòmic, l'elecció es deu a l'àrea que aquest ocupa, ja que 1 m² és excessiu tal i com està constituïda la plataforma. Els altres models, al disposar de més corrent, carregarien abans la bateria, però el seu preu és més elevat, pesen més i les seves dimensions portarien problemes d'adaptació a la plataforma automotriu.

El següent element a comentar és el regulador, l'encarregat de controlar el corrent que circula dels panells solars cap a la bateria per evitar danys i protegir la bateria.

Taula 30. Regulador de tensió BLUE SOLAR

Marc	BLUE SOLAR
Model	SLR10V1224V
Tensió d'entrada (V)	-
Tensió Nominal (V)	12
Corrent d'entrada màx.	10
Preu (€)	39,9

Aquest és un element molt barat i fàcil de trobar. Només s'ha de tenir en compte els limitadors de corrent i de tensió. En aquest cas concret es podria instal·lar el regulador de la marca **BLUE SOLAR** model **SLR10V1224V** (Annex 8), el qual compleix amb tots els requisits mínims. Òbviament les dimensions i el pes d'aquest element són negligibles.

6.1 RESULTATS

A continuació es pot observar una taula resum dels diferents components escollits per la instal·lació del sistema elèctric fotovoltaic:

Taula 31. Elements del sistema fotovoltaic

SISTEMA HÍBRID INVERSOR 24 V			
Elements	Unitats	Pes (kg)	Preu (€)
Inversor SOLENER	1	36,00	3.069,79
Trojan 30XHS	2	60,00	394,46
Regulador de tensió BLUE SOLAR	1	0,35	39,90
Panell solar ARTESA model A-150P	1	11,90	259,00
TOTAL		108,25	3.823,55

Els resultats d'aquest capítol semblen més favorablement econòmics que els del capítol 4 degut a que la instal·lació del panell solar i el regulador de tensió és més econòmic que el carregador de bateries.

Com avantatge principal respecte als altres sistemes presentats aquest sistema permet carregar les bateries mentre la plataforma esta en ple funcionament gracies al grup electrogen. Esmentar que l'únic problema a estudiar d'aquest sistema, tot i que no és objecte d'aquest projecte, és com es muntaria el panell solar a la plataforma per aconseguir l'angle corresponent segons l'hora del dia, ja que si esta en una posició fixa no s'aprofitaran les hores pic esmentades.

Aquest apartat mostra com per una bateria que dona una autonomia d'uns 20 minuts aproximadament es necessitaria instal·lar a la plataforma automotriu una placa fotovoltaica aproximadament d'1 m². La conclusió que es pot extreure és que si el següent pas consistís amb realitzar l'estudi del sistema fotovoltaic eliminant el grup electrogen es trobaria que la bateria necessària és aproximadament de 280 Ah, demandant un corrent de càrrega de 17,5 A.

En definitiva, si a més a més s'aplica el coeficient del 30% de seguretat, finalment és necessita un corrent de càrrega de 22,75 A. Aquesta intensitat de càrrega provocaria que el sistema necessites més d'un panell i provocaria que la plataforma automotriu no pogués assumir la dimensió de la instal·lació.

7 CONCLUSIONS

Aquest capítol vol il·lustrar d'una manera breu les diferents conclusions extretes per cadascun dels sistemes treballats i dimensionats durant el treball.

El sistema híbrid té l'avantatge que en cas de que les bateries no funcionin correctament o per qualsevol circumstància aquestes no puguin realitzar les seves funcions la plataforma pot treballar amb el grup electrogen, fet que permetria finalitzar la tasca que els operaris realitzessin en aquell moment. El fet de no eliminar el grup electrogen provoca que els problemes de contaminació i soroll només es disminueixin, però en cap cas són eliminats.

Com és pot observar a la Taula 21 és un sistema amb un cost superior als 4.000€. Es tracta d'un cost elevat tenint en compte que en el sistema híbrid no s'elimina el grup electrogen. Aquest fet és degut a l'elevat preu de l'inversor trifàsic, superior als 3.000€.

Pel que fa a l'augment de pes, aquest és inferior a 100 kg, fet que és important degut a que no és un augment excessiu i que el pes final de la plataforma seria aproximadament de 726 kg. És a dir, no superaria els 750 kg i, per tant, podria ser transportada amb remolc arrastrat per un automòbil conduït per qualsevol persona amb permís de conduir convencional (B).

El sistema totalment elèctric amb motors de corrent altern té com a principal avantatge que el grup electrogen és eliminat, fet que provoca millores de contaminació al medi ambient i una reducció del soroll considerable.

Els punts negatius apareixen a la Taula 26 on es pot observar com el seu cost (aproximadament 6.000€) és substancialment més elevat que el del sistema híbrid. Això és degut a la major capacitat (Ah) que necessiten les bateries en comparació amb el sistema híbrid, provocant un sobrecost de les mateixes.

Com a conclusió del paràgraf anterior es pot extreure que el sobredimensionat de les bateries provocaria que el pes de la plataforma augmentés fins a 950 kg, fet que implicaria problemes de transport (al superar els 750 kg es necessitaria transport especial).

Finalment, esmentar el sistema de tracció elèctric amb plaques fotovoltaïques, les quals, tal i com es pot observar al capítol 6 són òptimes per treballar com a sistema híbrid, ja que les dimensions i pes del sistema són acceptables per la plataforma.

En el cas de que la idea fos realitzar l'alimentació mitjançant un sistema fotovoltaic quan es parla d'un sistema de tracció totalment elèctric de la plataforma automotriu es podria observar que les bateries necessàries serien les del capítol 5, és a dir, amb capacitats quatre vegades més grans i per tant parlariem d'un corrent del carregador solar molt gran, la qual cosa implicaria un conjunt de panells solars de dimensions molt elevades. La seva instal·lació a la plataforma es totalment inviable per temes d'estructura, pes i muntatge.

Per finalitzar m'agradaria indicar quins són els treballs futurs que crec que s'haurien de fer a partir d'aquí amb la plataforma. Al tractar-se d'un treball docent el factor econòmic és molt

important i per tant crec que s'hauria de portar a terme el muntatge del sistema híbrid degut a que el sistema totalment elèctric d'alterna té un sobrecost de 2.000€.

També seria interessant que per futures plataformes, s'estudiés la possibilitat d'utilitzar motors de continua. D'entrada, aquesta solució presenta l'avantatge de no requerir inversors, lo qual suposa un estalvi econòmic significatiu.

Aquest punt no s'ha realitzat en aquest treball perquè els motors AC, variador de freqüència i software de control corresponent estan comprats, instal·lats i amb plena funcionalitat i, per tant, no era raonable prescindir d'aquest elements.

Finalment, en futurs dissenys també caldria millor el xassís de la plataforma, donat que actualment la seva estructura està sobredimensionada i presenta un pes excessiu per les funcions que ha de realitzar. Una reducció de pes implicaria menors requeriments en la potència demanada i, per tant, s'abaratirien el conjunt de components (motors, bateries, etc.) dels sistema de tracció.

BIBLIOGRAFIA


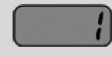
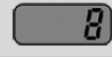

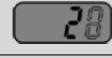

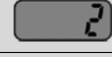



- [1] **Pascual Alsina, Jan (2013)** – Implementació i posada en marxa d'un sistema de supervisió i control d'una plataforma automotriu per a tasques en agricultura de precisió
- [2] **Mitjà i Sarvisé, Albert** - El Vehicle elèctric: situació actual i perspectives
- [3] **Arola Martínez. Albert (2014)** - Dimensionat integral d'un sistema elèctric de tracció d'un vehicle elèctric
- [4] http://es.wikipedia.org/wiki/Batería_recargable
- [5] http://www.power-sonic.com/pdc_deep_cycle_series.php
- [6] **Boston Consulting Group** - Batteries for Electric Cars (bcg.com)
- [7] **M. Ibañez Plana, J.R. Rosell Polo, J.I. Rosell Urrutia (2005)** - Tecnología Solar
- [8] http://www.hobbyjess.es/userFiles/ecommerce/contents/cargadores_de_baterias_2.pdf
- [9] **Alonso Abella, Miguel (2005)** – Sistemas fotovoltaicos – Introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica
- [10] **Pedro Ponce Cruz y Javier Sampé López (2008)** - Máquinas eléctricas y técnicas modernas de control
- [11] **Stephen J. Chapman (2011)** - Maquinas Electricas
- [12] **G. Díaz, A. Barbón y J. Gómez-Aleixandre (2002)** - Variación de la velocidad de los motores elèctricos
- [13] **SDRIVE 250 Series** – Instrucciones de Manejo – Power Electronics
- [14] **Karl-Heinz Dietsche i Maria Klingebiel (2005)** - Manual de la técnica del automóvil
- [15] <http://lawebtecnica.freevar.com/elmec/grupelec/grupelec.html>
- [16] <http://www.regenbat.com>
- [17] **Victron Energy** - Energy Unlimited



ANNEXES

Annex 1. Manual Variador de freqüència SD250

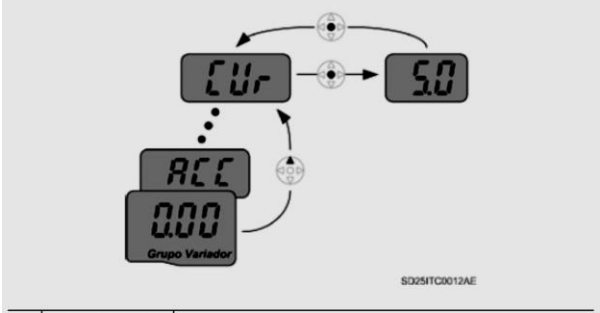
- Com buscar una funció (F, H o I) i variar el seu funcionament:





1		- En F0, presionar la tecla Ent una vez.
2		- Se muestra el número del parámetro de F1, "1". - Incrementar el valor a "8" presionando la tecla arriba (▲).
3		- Cuando está seleccionado el "8", presionar la tecla izquierda (◀) una vez.
4		- El "0" se activa. - Seleccionar el valor "2" presionando la tecla arriba (▲).
5		- Se visualiza "20" en el display. - Presionar la tecla Ent una vez.
6		- Aparece el parámetro número 20 (F20) en el display. - Presionar la tecla Ent una vez para comprobar el valor actual.
7		- El valor actual es "2". - Incrementar el valor a "5" usando la tecla arriba (▲).
8		- Presionar la tecla Ent .
9		- El número del parámetro aparecerá a continuación. El cambio del valor del parámetro se ha completado. - Presionar la tecla izquierda (◀) o derecha (▶) hasta llegar al primer parámetro del grupo.
10		- Desplazamiento al primer parámetro del grupo Función 1 completado.

Resum de les funcions mes útils.

Paràmetre	Descripció	Rang	Valor per defecte	Funció
F21	Freqüència màxima	40.00 - 400 Hz	50.00 Hz	Ajust valor màxim de la freqüència de sortida.
F23	Freqüència arrancada	0.10 - 10 Hz	0.50 Hz	Ajust freq. a la qual el variador començarà aplicar tensió de sortida. Límit inferior.
F25	Límit sup. de freqüència	0.00 - 400 Hz	50.00 Hz	Ajust valor límit superior de freq. No pot estar per damunt de la freqüència màxima.
F26	Límit inf. de freqüència	0.10 - 400 Hz	0.50 Hz	Ajust valor límit inferior de freqüència. No pot ser inferior a la freqüència de Límit superior ni tampoc a la Freqüència arrancada.
F39	Ajust tensió de sortida	40-110%	100%	Ajust valor de tensió de sortida
H30	Ajust potència motor	0.2 - 7.5 kW	*	Ex: 5.5 són 5.5 kW
H31	Ajust número de pols	02-12	4	Ajust número de pols (rPM)
H32	Ajust lliscament del motor	0 - 10 Hz	*	-
H33	Corrent nominal del motor	0.5 - 50A	*	Introduir valor corrent nominal del motor.

- Veure per pantalla les diferents variables que permet el variador:



1		- En "0.0", presionar repetidamente la tecla arriba (▲) o abajo (▼) hasta que aparezca en el display 'CUR'.
2		- La monitorización de la salida de corriente se muestra en este parámetro. - Presionar la tecla Ent una vez para visualizar la corriente.
3		- La salida de corriente actual es 5A. - Presionar la tecla Ent una vez para volver al nombre del parámetro.
4		- Retorno al parámetro de monitorización de la salida de corriente.

Nota: Otros parámetros del grupo Variador tales como 'dCL → Corriente DC Link del variador' o 'VOL → Tensión de salida del variador' pueden ser monitorizados de la misma forma.

Paràmetres que permet observar el variador.

Paràmetre	Descripció	Rang	Valor per defecte	Funció
0.00	Freq. de referencia	0 - 400 Hz	0.00 Hz	Indica la freqüència a la que treballa el variador. La funció "F21" marca el valor de freqüència màxima.
ACC	Temps acceleració		0 - 6000 seg	Aquest paràmetre ajusta el temps d'accel/descel.
dEC	Temps desceleració		0 - 6000 seg	
Frq	Mode d'ajustar la freqüència	0-8	0	Per poder ajustar la freqüència a partir del teclat el valor d'aquest paràmetre ha de ser 0 o 1.
St1	Freqüència multi pas 1	0 - 400 Hz	10.00 Hz	Paràmetre per memoritzar diferents freqüències de pas, per exemple, per poder aconseguir utilitzar una botonera com en el cas de la plataforma.
St2	Freqüència multi pas 2	0 - 400 Hz	20.00 Hz	
St3	Freqüència multi pas 3	0 - 400 Hz	30.00 Hz	
CUR	Corrent de sortida	-	-	Mostra la corrent de sortida [A].
rPM	RPM del motor	-	-	Mostra les RPM del motor (atenció amb la programació del variador respecte número de pols).
vOL	L'usuari tria quin dels tres paràmetres vol veure.	vOL	vOL	La funció "H73" deixa seleccionar el paràmetre que més interessa.
Por		Por		
tOr		tOr		
nOn	Visualització dels errors	-	-	Mostra per pantalla els tipo de fallo i la freqüència de treball quan s'ha produït.
drC	Selecció del sentit de gir.	F, r	F	Ajustar el sentit de gir, on "F" indica cap en davant i "r" cap a darrera.

Annex 2. Inversor SOLENER 24V / 400 – 4.000 W

Inversor Senoidal Trifásico

Monofásico 230V + Trifásico 400V ISC 4000 24V

Nos complace presentarle la nueva gama de inversores Solener, los cuales tienen la particularidad de que además de ser Inversores de onda pura monofásicos ahora también tienen una salida trifásica, lo cual da una amplitud para sistemas trifásicos, ya sea para un motor, una bomba o para cualquier otro tipo de aplicación.

DATOS TÉCNICOS

Tensión de salida monofásica	230V _{ca}
Tensión de salida trifásica	400V _{ca}
Frecuencia de salida monofásica	60Hz
Frecuencia de salida trifásica	50Hz
Variación de frecuencia de salida	<0.1%
Variación de tensión de salida	<5%
Tensión mínima de entrada	6V _{nom}
Tensión máxima de entrada	3V _{nom}
Rendimiento	85-97%
Rendimiento con carga nominal	>85%
Autoconsumo (en búsqueda)	<120mA
Distorsión armónica	<5%

DATOS CONCRETOS DEL MODELO

Potencia nominal (W)	4000
Tensión nominal (V)	24/48
Tensión en monofásico	230
Tensión en trifásico	400
Sobrecarga 3 (W)	7000
Sobrecarga 50 (W)	6000
Sobrecarga 6 (W)	4320
Longitud(mm)	535
Altura(mm)	178
Anchura(mm)	285
Peso neto(kg)	36



Annex 3. Bateria TROJAN 30XHS



30XHS DATA SHEET

MODEL: 30XHS with POD vent
VOLTAGE: 12
DIMENSIONS: Inches (mm)
BATTERY: Flooded/wet lead-acid battery
COLOR: Maroon (case/cover)
MATERIAL: Polypropylene
WATERING SYSTEM: N/A



PRODUCT SPECIFICATIONS

BCI GROUP SIZE	TYPE	CAPACITY ^A Minutes		CAPACITY ^A Amp-Hours (AH)				ENERGY (kWh)	TERMINAL Type ^E	DIMENSIONS ^C Inches (mm)			WEIGHT lbs. (kg)
		@25 Amps	@75 Amps	5-Hr Rate	10-Hr Rate	20-Hr Rate	100-Hr Rate			Length	Width	Height ^D	
12 VOLT DEEP CYCLE BATTERY - with T2 TECHNOLOGY™													
30H	30XHS	225	57	105	120	130	144	1.73	5, 7, 8, 9	14.00 (355)	6.73 (171)	10.07 (256)	66 (30)

A. The number of minutes a battery can deliver when discharged at a constant rate at 80°F (27°C) and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.
 B. The amount of amp-hours (AH) a battery can deliver when discharged at a constant rate at 80°F (27°C) for the 20-Hour and 100-Hour rates and 86°F (30°C) for the 5-Hour rate and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.
 C. Dimensions are based on nominal size. Dimensions may vary depending on type of handle or terminal.
 D. Dimensions taken from bottom of the battery to the highest point on the battery. Heights may vary depending on type of terminal.
 E. Terminal images are representative only.
 Trojan's battery testing procedures adhere to both BCI and IEC test standards.

CHARGING INSTRUCTIONS

CHARGER VOLTAGE SETTINGS (AT 77°F/25°C)					
System Voltage	6V	12V	24V	36V	48V
Absorption Charge	7.40	14.8	29.6	44.4	59.2
Float Charge	6.60	13.2	26.4	39.6	52.8
Equalize Charge	7.75	15.5	31.0	46.5	62.0

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

CHARGING TEMPERATURE COMPENSATION

.028 VPC for every 10°F (5.55°C) above or below 77°F (25°C) (add .028 VPC for every 10°F (5.55°C) below 77°F and subtract .028 VPC for every 10°C above 77°F).

OPERATIONAL DATA

Operating Temperature	Self Discharge
-4°F to 113°F (-20°C to +45°C). At temperatures below 32°F (0°C) maintain a state of charge greater than 60%.	5 - 15% per month depending on storage temperature conditions.

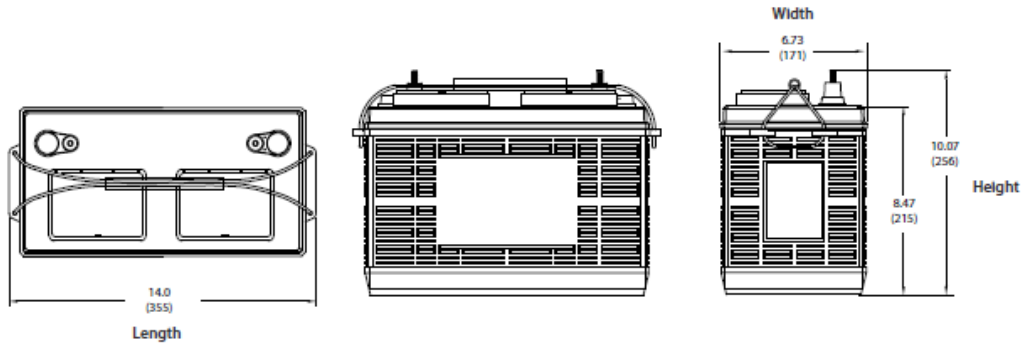
TERMINAL CONFIGURATIONS

S	LT	L-Terminal
		Terminal Height Inches (mm) 1.70 (43) Torque Values in-lb (Nm) 100-120 (11-14) Bolt 3/8"
	UT	Universal Terminal Terminal Height Inches (mm) 1.10 (28) Torque Values in-lb (Nm) 95-105 (10.7-11.9) Bolt 5/16"
	AP	Automotive Post Terminal Terminal Height Inches (mm) .83 (21) Torque Values in-lb (Nm) 50-70 (6-8)
	WNT	Wingnut Terminal Terminal Height Inches (mm) .95 (24) Torque Values in-lb (Nm) 95-105 (11-12) Bolt Size 5/16-18

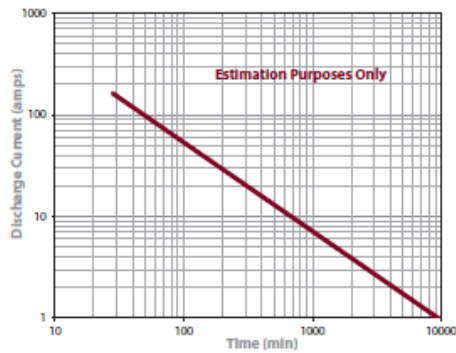
1187-527-51805-14-18

30XHS DATA SHEET

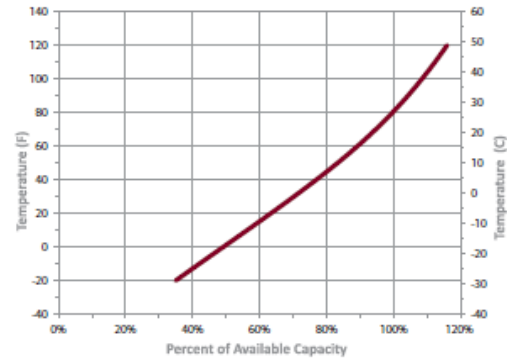
BATTERY DIMENSIONS (shown with WNT)



TROJAN 30XHS PERFORMANCE



PERCENT CAPACITY VS. TEMPERATURE



TROJAN BATTERY
COMPANY WITH
QUALITY SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001:2008



Trojan batteries are available worldwide through Trojan's Master Distributor Network. We offer outstanding technical support, provided by full-time application engineers.

For a Trojan Master Distributor near you, call 800.423.6569 or + 1.562.236.3000 or visit www.trojanbattery.com

12380 Clark Street, Santa Fe Springs, CA 90670 • USA

© 2014 Trojan Battery Company. All rights reserved. Trojan Battery Company is not liable for damages that may result from any information provided in or omitted from this publication, under any circumstances. Trojan Battery Company reserves the right to make adjustments to this publication at any time, without notice or obligation. Please check the Trojan Battery website (www.trojanbattery.com) for the most up-to-date information.

Page 2 of 2

#1857 501 10/001 1/18

Annex 4. Carregador de bateria MASTERVOLT – CHARGEMASTER 24/20-3

Especificaciones generales

Tensión de salida nom.	24 V
Corriente de carga total	30 A
Número de salidas para baterías	3
Salida auxiliar de corriente de carga	30 A
Tercera salida de corriente de carga	30 A
Gama de la capacidad de la batería	60-300 Ah
Tensión de entrada nominal	120/230 V (90-265 V), 50/60 Hz
Conexión CA	regleta de conexiones
Suministra alimentación al sistema sin batería	sí
Pantalla/lectura	pantalla LED
Dimensiones, alxanxpr	291x210x131 mm
	11,5 x 8,3 x 5,2 pulgadas
Peso	4 kg
	8,8 libras
Fijación	más soporte de montaje o 4 tornillos para instalación en paredes o para instalación en suelo
Certificados	CE, ABYC A-31, SAE J1171/ISO8846 ignition protected

Especificaciones técnicas

Características de carga	IUoUo, automática de 3-etapas+ para baterías de gel/AGM/húmedas/lón de Litio
Tensión de carga Masiva	28,8 V
Tensión de carga Absorción	28,5 V
Tiempo de Absorción	4 hours
Tensión de carga Flotante (baterías húmedas)	26,5 V
Tensión de carga Flotante (baterías de gel/AGM)	27,6 V
Compensación térmica	-60 mV/ °C
	-33 mV/ °F
Compensación de tensión	automático
Consumo de energía (lado CC)	< 2,5 mA
Consumo a plena carga (230 V CA)	925 W
Función de control de corriente	sí, through MasterBus
Control de factor de potencia	≥ 0,98
Rango de temperatura (temp. ambiente)	-25 °C a 60 °C, reducción > 40 °C
	-13 a 140 °F
Refrigeración	sistema vario fan
Nivel sonoro	< 52 dBA a 1 m
Grado de protección	IP23
Protecciones	sobretensión, sobrecarga, cortocircuito, batería alta, batería baja
Compatible con MasterBus	sí
Alarma CSI/CC	sí, mediante Multipurpose Contact Output (artículo n° 77030500)

Annex 5. Bateria TROJAN J305P-AC



J305P-AC DATA SHEET
for Renewable Energy and Backup Power Applications

SIGNATURE LINE

MODEL: J305P-AC with Bayonet Cap
DIMENSIONS: inches (mm)
BATTERY: Flooded/wet lead-acid battery
COLOR: Maroon (case/cover)
MATERIAL: Polypropylene



PRODUCT SPECIFICATIONS

BCI GROUP SIZE	TYPE	CAPACITY ^A Amp-Hours (AH)								ENERGY (KWH)	VOLTAGE	TERMINAL Type ^{B,C}	DIMENSIONS ^D Inches (mm)			WEIGHT lbs. (kg)
		2-Hr Rate	5-Hr Rate	10-Hr Rate	20-Hr Rate	48-Hr Rate	72-Hr Rate	100-Hr Rate	100-Hr Rate				Length	Width	Height ^E	
SIGNATURE LINE - DEEP-CYCLE FLOODED BATTERIES																
902	J305P-AC*	215	271	304	330	351	360	367	2.20	6VOLT	6	11-5/8 (295)	7 (178)	14-3/8 (365)	96 (44)	

CHARGING INSTRUCTIONS

CHARGER VOLTAGE SETTINGS (AT 77°F/25°C)	
	Voltage per cell
Absorption charge	2.35-2.45
Float charge	2.20
Equalize charge	2.58

Do not install or charge batteries in a sealed or non-ventilated compartment. Constant under or overcharging will damage the battery and shorten its life as with any battery.

TERMINAL CONFIGURATIONS

6	DT	Automotive Post & Stud Terminal
Terminal Height Inches (mm) 29/32 (20)		
Torque Values in-lb (Nm) Bolt: 95 - 105 (11 - 12) AP: 50 - 70 (6 - 8) ST: 120 - 180 (14 - 20)		
Bolt Size 5/16 - 18		

*Polyon™ Case



OPERATIONAL DATA

Operating Temperature	Specific Gravity
-4°F to 113°F (-20°C to +45°C). At temperatures below 32°F (0°C) maintain a state of charge greater than 60%.	The specific gravity at 100% state-of-charge is 1.280

CHARGING TEMPERATURE COMPENSATION

To the Voltage Reading – Subtract 0.005 volt per cell (VPC) for every 1°C above 25°C or add 0.005 volt per cell for every 1°C below 25°C.

EXPECTED LIFE VS. TEMPERATURE

Chemical reactions internal to the battery are driven by voltage and temperature. The higher the battery temperature, the faster chemical reactions will occur. While higher temperatures can provide improved discharge performance the increased rate of chemical reactions will result in a corresponding loss of battery life. As a rule of thumb, for every 10°C increase in temperature the reaction rate doubles. Thus, a month of operation at 35°C is equivalent in battery life to two months at 25°C. Heat is an enemy of all lead acid batteries, FLA, AGM and gel alike and even small increases in temperature will have a major influence on battery life.

A. The amount of amp-hours (AH) a battery can deliver when discharged at a constant rate at 77°F (25°C) and maintain a voltage above 1.75 V/cell. Capacities are based on peak performance.

B. Dimensions are based on nominal size. Dimensions may vary depending on type of handle or terminal.

C. Dimensions taken from bottom of the battery to the highest point on the battery. Heights may vary depending on type of terminal.

D. Terminal Images are representative only.

Trojan's Battery testing procedures adhere to both BCI and IEC test standards.

** Additional Terminals Available

Made in the USA

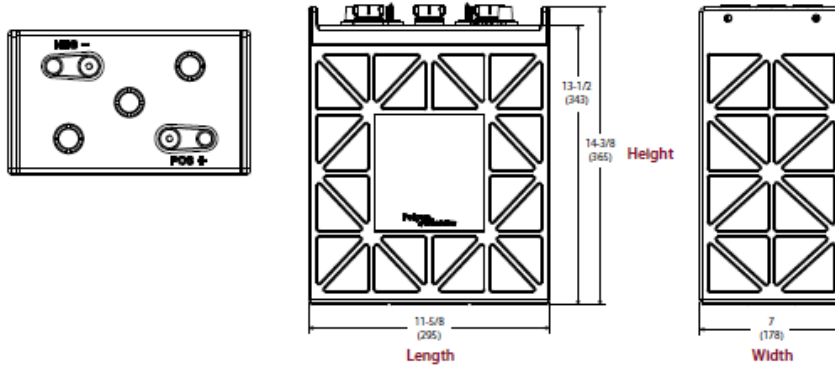


J305P-AC DATA SHEET

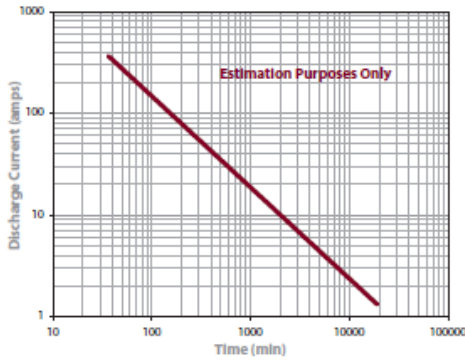
for Renewable Energy and Backup Power Applications

SIGNATURE LINE

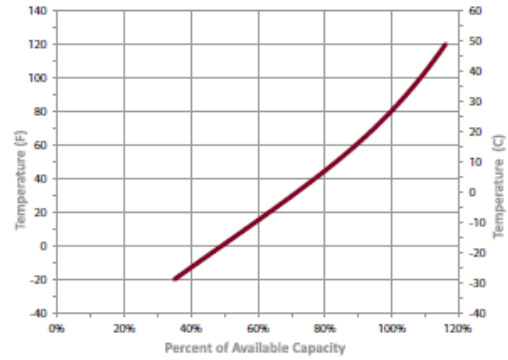
BATTERY DIMENSIONS (shown with DT)



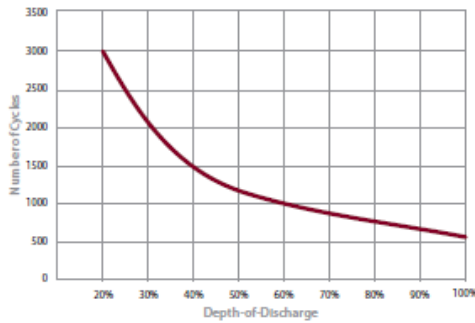
TROJAN J305P-AC PERFORMANCE



PERCENT CAPACITY VS. TEMPERATURE



TYPICAL CYCLE LIFE IN A STATIONARY APPLICATION



Trojan batteries are available worldwide.
We offer outstanding technical support, provided by full-time application engineers.
call 800.423.6569 or + 1.562.236.3000 or visit www.trojanbatteryRE.com
12380 Clark Street, Santa Fe Springs, CA 90670 • USA or email re@trojanbattery.com

© 2013 Trojan Battery Company. All rights reserved. Trojan Battery Company is not liable for damages that may result from any information provided in or omitted from this publication, under any circumstances. Trojan Battery Company reserves the right to make adjustments to this publication at any time, without notice or obligation. Please check the Trojan Battery website (www.trojanbattery.com) for the most up-to-date information.

Annex 6. Carregador de bateria MASTERVOLT – MASS 48/25

Especificaciones generales

Tensión de salida nom.	48 V
Corriente de carga total	25 A
Número de salidas para baterías	1
Gama de la capacidad de la batería	100-500 Ah
Tensión de entrada nominal	230 V (180-265 V), 50/60 Hz
Suministra alimentación al sistema sin batería	si
Pantalla/lectura	pantalla LED
Dimensiones, alxanxpr	420x318x130 mm
	16,5 x 12,5 x 5,1 pulgadas
Peso	4,6 kg
	10,1 libras
Certificados	CE, E-mark, ABYC A-31, RRR, RS

Especificaciones técnicas

Características de carga	IUoUo, automática de 3-etapas+ para baterías de gel/AGM/húmedas/Ión de Litio
Tensión de carga Masiva	57 V
Tensión de carga Absorción	57 V
Tiempo de Absorción	4 hours
Tensión de carga Flotante (baterías húmedas)	53 V
Tensión de carga Flotante (baterías de gel/AGM)	55,2 V
Compensación térmica	-120 mV/ °C -67 mV/ °F
Compensación de tensión	compensación de la caída de tensión en cables CC de hasta 3 V
Consumo de energía (lado CC)	< 1 mA
Consumo a plena carga (230 V CA)	1800 W
Control de factor de potencia	> 0,95
Rango de temperatura (temp. ambiente)	-25 °C to 80 °C, reducción > 45 °C -13 a 176 °F
Refrigeración	sistema vario fan
Nivel sonoro	< 48 dBA a 1 m
Grado de protección	IP23
Protecciones	sobretensión, sobrecarga, cortocircuito, batería alta, batería baja
Compatible con MasterBus	si
Alarma CSI/CC	integrado en el cargador de baterías estándar



Annex 7. Mòdul fotovoltaic ARTESA A-150P



Módulo fotovoltaico → A-140P / A-150P



10
años de
garantía

+30
años en
el sector

Los módulos de ATERSA están diseñados y contruidos teniendo presente su larga vida útil. Por este motivo ATERSA cuida de forma especial la elección de todos y cada uno de los componentes que incorporan, haciéndoles pasar por múltiples y rigurosos controles de calidad, tanto antes, como en la propia producción, para garantizar una altísima eficiencia y durabilidad.

Los más de 30 años que llevamos en el sector, nos hace acumular una experiencia que volcamos en todos los productos que fabricamos.

Así mismo, la instalación de los módulos se facilita mediante el uso de diferentes sistemas diseñados por ATERSA, que nos diferencian claramente de los productos estándar del mercado.

CERTIFICADOS



ISO 9001, 14001
IEC 61215 (Ed.2)
IEC 61730 (Ed.1)
UL, MCS, ICM (€ ☐)

RECICLABLE



Cuidado del medio ambiente.
Módulos reciclables.
Adheridos a PV Cycle.

LARGA DURACIÓN



Garantizada la Potencia de salida: 25 años.
*10 años, libre de defectos de fabricación.

SERVICIO



Servicio Integral.
Asesoramiento técnico,
servicio postventa,
mantenimiento,
reparaciones.

SISTEMA HOOK™



Montaje rápido y sencillo.
Sistema de Fijación Hook™.
Mínimo mantenimiento.

ROBUSTEZ



Cristal templado con alto nivel de transparencia y de 3,2mm de espesor. Robusto marco. Caja de conexiones QUAD IP54.

FIABILIDAD



Excelente respuesta en condiciones de baja luminosidad.
Garantizada por su tecnología cristalina.

RESISTENCIA



Resistencia a cargas de viento de 2400 Pa y hasta 5400 Pa de nieve.

Para una información más detallada de los términos de la garantía, consulte: www.ateresa.com

Características eléctricas (STC: 1kW/m², 25°C±2°C y AM 1,5)*

	A-140P	A-150P
Potencia Nominal (±5%)	140 W	150 W
Eficiencia del módulo	14,39%	15,42%
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	7,98 A	8,41 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	17,54 V	17,84 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	8,42 A	8,69 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	22,30 V	22,60 V

Parámetros térmicos

Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	0,04% /°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-0,32% /°C
Coefficiente de Temperatura de P (γ)	-0,43% /°C

Características físicas

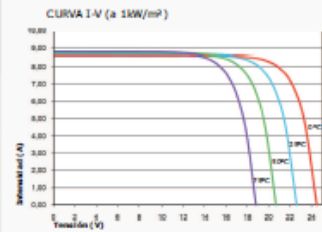
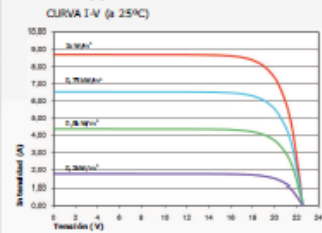
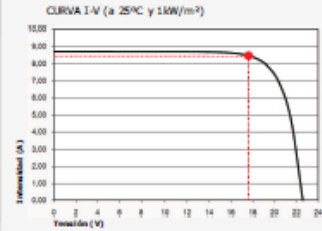
Dimensiones (mm ± 2mm)	1476x659x35
Peso (kg)	11,9
Área (m ²)	0,97
Tipo de célula	Policristalina 156x156mm (6 pulgadas)
Células en serie	36 (4x9)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2mm
Marco	Acabación de aluminio pintado en poliéster
Caja de conexiones / Opcional	QUAD IP54 / QUAD IP65
Cables	-
Conectores	-

Rango de funcionamiento

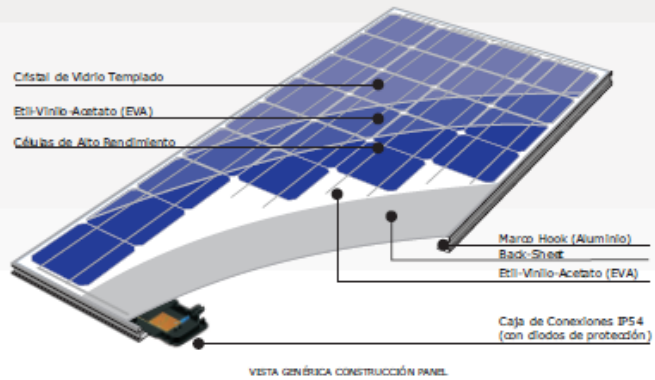
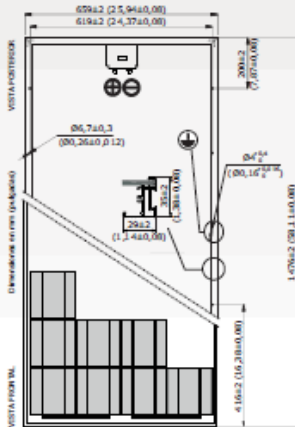
Temperatura	-40 °C a +85 °C
Máxima Tensión del Sistema / Protección	1000 V / CLASS II
Carga Máxima Viento	2400 Pa (130 km/h)
Carga Máxima Nieve	5400 Pa (551 kg/m ²)

* Especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47±2°C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Imp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Curvas modelo A-150P



* Max. Corriente Inversa (IR): 15,1A.



NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.

www.atersa.com • atersa@elecnor.com

Madrid 915 178 452 • Valencia 902 545 111 • Italia +39 039 226 24 82 • Alemania +49 151 153 988 44

Revisado: 24/02/12
Ref.: MU-6P (1)40-N



Annex 8. Regulador de tensió BLUE SOLAR – SLR10V1224V

Blue solar 12/24 PWM 10 A

Regulador de carga solar de 10 amperios para sistemas de baterías de 12 y 24 voltios.

Reconoce de forma automática el voltaje de la batería de 12 ó 24V. Indicadores LED del estado de carga.

- Controlador PWM (modulación por ancho de pulsos) económico.
- Sensor de temperatura interno.
- Carga de las baterías de tres etapas (inicial, absorción y flotación).
- Protegido contra sobrecorriente.
- Protegido contra cortocircuitos.
- Protegido contra la conexión inversa de los paneles solares y/o de la batería.
- Desconexión de la salida de carga por baja tensión.
- Voltaje máximo de entrada 28/55V.

BlueSolar	BlueSolar 12/24-5 BlueSolar 12/24-10 BlueSolar 12/24-20	
	12V	24V
Tensión de la batería	AutoSelect de 12/24V	
Corriente de carga nominal	5/10/20A	
Seguimiento MPPT	No	
Salida de la segunda batería	No	
Desconexión automática de la carga	Si (carga máxima 10/10/20A)	
Tensión solar máxima	28/55V	
Autoconsumo	6mA	
Valores predeterminados		
Carga de absorción	14,4V	28,8V
Carga de flotación	13,7V	27,4V
Carga de equalización	n.d.	
Desconexión de sobrecarga	n.d.	
Recuperación de sobrecarga	n.d.	
Desconexión de carga por baja tensión	11,1V	22,2V
Reconexión de carga por baja tensión	12,6V	25,2V
Carcasa y medio ambiente		
Sensor de temperatura de la batería	Si (sensor interno)	
Compensación de temperatura	-30mV/°C	-60mV/°C
Temperatura de funcionamiento	-35 °C a +55 °C (carga completa)	
Refrigeración	Convección natural	
Humedad (sin condensación):	Max. 95%	
Clase de protección	IP20	
Tamaño de los terminales	6mm ² / AWG10	
Peso	160/160/180 gr	
Dimensiones (al x an x p)	70x133x34 mm	
	70x133x34 mm	
	76x153x37 mm	
Montaje	Montaje vertical de pared (Sólo interiores)	