

## Resum

Aquest document descriu la metodologia emprada per a dissenyar un model dels components que conformen la cadena energètica d'una cadira de rodes elèctrica. Per a realitzar-lo s'ha emprat el programa MATLAB Simulink. La cadira de rodes escollida és el model Quickie Jive-M de la marca Sunrise Medical, la qual té a la seva disposició el departament d'enginyeria elèctrica de la universitat.

La finalitat principal d'aquest projecte és, un cop representat el model el més fidel a la realitat possible, poder realitzar diferents simulacions per a veure com respon la cadira. D'aquesta manera, imposant unes característiques determinades de l'entorn, velocitat del vent o inclinació del sòl entre altres, i de la consigna velocitat, observar l'evolució dels valors de tensió i corrent que passen a través de cada element del tren energètic, així com també dels diferents paràmetres associats que es generen. Alhora també es podrà analitzar com afecten les diferents forces que s'oposen al moviment.

La memòria inclou una introducció general al concepte de cadira de rodes, explicant l'evolució, classificació i les característiques principals que han de tenir. Tot seguit, es detallen mitjançant una anàlisi electromecànica tots els components del circuit que recorre l'electricitat fins a convertir-se amb moviment de la cadira i les seves respectives equacions.

Com a part central del projecte, s'introdueixen els conceptes i els principis necessaris per a representar el model plantejat amb Simulink així com també tots els elements que s'han considerat per a la representació. La simulació que es duu a terme correspon al tram d'acceleració que ha de fer la cadira fins a assolir la seva velocitat màxima. Per a finalitzar, s'expliquen els resultats obtinguts i les conclusions que s'han pogut extreure un cop acabat tot el projecte.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. GLOSSARI</b>	<b>5</b>
1.1. Símbols i variables	5
1.2. Índex de figures	6
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>9</b>
2.1. Objectius del projecte	10
2.2. Motivació	11
2.3. Abast del projecte	11
<b>3. ANÀLISI D'ANTECEDENTS</b>	<b>12</b>
3.1. Història de la cadira de rodes	12
3.2. Estat de la tècnica	14
3.2.1. Classificació de les cadires de rodes	14
3.2.2. Innovació en els sistemes tecnològics	17
<b>4. PLEC DE CONDICIONS I PRESTACIONS</b>	<b>19</b>
4.1. Ergonomia	20
4.2. Material	21
4.3. Parts de la cadira	22
4.3.1. Seient	22
4.3.2. Respatller	22
4.3.3. Suport de braços	23
4.3.4. Reposapeus	24
4.3.5. Rodes	24
4.3.6. Parts especials de cadires de rodes elèctriques	25
<b>5. ANÀLISI ELECTROMECÀNIC DE LA JIVE-M</b>	<b>26</b>
5.1. El sistema d'emmagatzematge d'energia	26
5.1.1. Bateries electroquímiques	27
5.1.2. Bateries de la Jive-M	28
5.2. El convertidor	29
5.2.1. El convertidor de la Jive-M	30
5.3. El motor	31
5.3.1. Introducció al motor d'imants permanents	31

5.3.2.	Els motors de la Jive-M.....	32
5.3.3.	Model del motor .....	33
5.4.	Transmissió i roda.....	34
5.5.	El Xassís .....	35
<b>6.</b>	<b>REPRESENTACIÓ ENERGÈTICA MACROSCÒPICA</b> .....	<b>36</b>
6.1.	Introducció a la EMR.....	36
6.2.	Fonaments .....	37
6.2.1.	Principi d'acció-reacció.....	37
6.2.2.	Principi de causalitat .....	38
6.2.3.	Elements.....	38
6.2.4.	Control basat en inversió .....	41
6.3.	Representació d'una cadira elèctrica .....	43
6.3.1.	Modelat .....	43
6.3.2.	Estructura màxima de control .....	50
<b>7.</b>	<b>SIMULACIÓ</b> .....	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>IMPACTE AMBIENTAL I SOCIAL</b> .....	<b>64</b>
	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>67</b>
	<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>69</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>71</b>
	Referències bibliogràfiques .....	71
	Bibliografia complementària .....	75

# 1. Glossari

## 1.1. Símbols i variables

<b>EMR</b>	Energetic Macroscopic Representation
<b>COCEMFE</b>	Confederació Coordinadora Estatal de Minusvàlids Físics d'Espanya
<b>PREDIF</b>	Plataforma Representativa Estatal de Discapacitats Físics (PREDIF)
<b>ADAPT</b>	Americans Disabled for Accessible Public Transit
<b>DPI</b>	Disabled Peoples' International
<b>Segle XIX</b>	Segle dinou
<b>IOT</b>	Internet of Things
<b>AC/CC</b>	Convertidors rectificadors
<b>CC/CC</b>	Convertidors choppers
<b>CC/AC</b>	Convertidors inversors
<b>AC/AC</b>	Convertidors de freqüència
<b><math>U_{\text{motor}}</math></b>	Tensió del motor
<b><math>m</math></b>	Paràmetre del modulador
<b><math>V_{\text{bateria}}</math></b>	Tensió de la bateria
<b><math>I_{\text{bateria}}</math></b>	Intensitat de la bateria
<b><math>I_{\text{motor}}</math></b>	Intensitat del motor
<b>PMDC</b>	Permanent Magnet Direct Current
<b>PMAC</b>	Permanent Magnet Alternating Current
<b>L</b>	Inductància del motor
<b>R</b>	Resistència del motor
<b><math>E_{\text{motor}}</math></b>	Força electromotriu
<b><math>T_{\text{motor}}</math></b>	El parell del motor
<b>K</b>	Constant del motor
<b><math>\phi</math></b>	Flux magnètic que travessa el motor
<b><math>\omega_{\text{motor}}</math></b>	Velocitat angular del motor
<b><math>\omega_{\text{roda}}</math></b>	Velocitat angular de la roda
<b><math>T_{\text{roda}}</math></b>	Parell de la roda
<b><math>k_{\text{reductor}}</math></b>	Relació de transmissió del reductor
<b><math>F_{\text{cadira}}</math></b>	Força de la cadira
<b><math>v_{\text{cadira}}</math></b>	Velocitat lineal de la roda

$F_{\text{resistència}}$	Força de resistència
$\text{massa}_{\text{cadira}}$	Meitat de la massa del conjunt cadira i usuari
<b>MIT</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>COG</b>	Casual Ordering Graph
<b>IBC</b>	Inversion Based Control
<b>Lille ENSAM</b>	Lille École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers
$\rho_{\text{aire}}$	Densitat de l'aire
$C_A$	Coefficient aerodinàmic
<b>S</b>	Àrea frontal de la cadira
$v_{\text{aire}}$	Velocitat de l'aire
$F_{\text{aire}}$	Força aerodinàmica
$F_{\text{pes}}$	Força del pes en una pendent
<b>g</b>	Gravetat
$\alpha$	L'angle de la pendent
$F_{\text{fregament}}$	Força de fregament
$\mu$	Coefficient de la resistència de fregament.
<b>EMC</b>	Estructura Màxima de Control
$K_{p_v}$	Constant proporcional del controlador velocitat
$t_{r_v}$	Temps de resposta controlador velocitat
$\alpha_v$	Alpha controlador velocitat
$K_{p_i}$	Constant proporcional del controlador intensitat
$K_{i_i}$	Constant integral del controlador intensitat
$\alpha_i$	Alpha controlador intensitat
$t_{r_i}$	Temps de resposta controlador intensitat

## 1.2. Índex de figures

Figura 3.1. Cadira estàndard.....	14
Figura 3.2. Cadira ultralleugera .....	14
Figura 3.3. Cadira passiva .....	15
Figura 3.4. Handbike (bicicleta de mà) .....	15

Figura 3.5. Un tipus de cadira d'exterior .....	16
Figura 3.6. Cadira bipedestadora .....	17
Figura 5.1. Esquemàtic de la cadira .....	26
Figura 5.2. Diagrama de circuit de les bateries .....	29
Figura 5.3. Estructura bàsica d'un convertidor.....	29
Figura 5.4. Chopper .....	31
Figura 5.5. Motors Jive-M.....	32
Figura 5.6. Etiqueta del motor .....	32
Figura 5.7. Esquema del motor elèctric.....	33
Figura 6.1 Exemple principi acció-reacció .....	38
Figura 6.2 Exemple principi de causalitat .....	38
Figura 6.3 Esquema de les fonts.....	39
Figura 6.4. Exemples de fonts.....	39
Figura 6.5. Estructura d'un element de conversió.....	40
Figura 6.6. Exemple de conversió .....	40
Figura 6.7. Esquema d'un element d'acumulació.....	40
Figura 6.8. Exemple d'acumulació.....	41
Figura 6.9. Exemple d'acoblament .....	41
Figura 6.10. Esquema de control .....	42
Figura 6.11. Exemple de control.....	42
Figura 6.12. Cadena energètica .....	43
Figura 6.13. Bateria.....	43
Figura 6.14. Modelat del convertidor .....	44

Figura 6.15. Obtenció R i K .....	45
Figura 6.16 Part elèctrica del motor.....	46
Figura 6.17. Conversió electromecànica .....	46
Figura 6.18. Transmissió del reductor .....	47
Figura 6.19. Roda .....	47
Figura 6.20. Xassís .....	48
Figura 6.21. Forces de resistència .....	50
Figura 6.22. Model de la EMR amb EMC.....	51
Figura 6.23. Modelat del control de la velocitat .....	52
Figura 6.24. Pas de força a parell de la roda.....	53
Figura 6.25. Conversió de parell de la roda a parell del motor .....	53
Figura 6.26. Conversió de parell del motor a intensitat.....	53
Figura 6.27. Modelat del control de la intensitat .....	54
Figura 6.28. Control del modulador .....	55
Figura 7.1. Velocitat de referència.....	56
Figura 7.2. Comparació de velocitats .....	57
Figura 7.3. Comparació de la força de la cadira .....	58
Figura 7.4 Sumatori de forces .....	59
Figura 7.5. Velocitats de rotació .....	60
Figura 7.6. Comparació dels parells.....	60
Figura 7.7. Comparació d'intensitats .....	61
Figura 7.8. Voltatges .....	62
Figura 7.9. Resum de les variables .....	63



## 2. Introducció

Cada dia és més habitual veure gent amb algun tipus de discapacitat física pels carrers, només a Catalunya l'any 2014 hi vivien 313.975 discapacitats físics[1].

Si s'analitzen les dades dels darrers cinc anys, enregistrades pel Departament de Benestar de la Generalitat de Catalunya, es pot observar com l'augment de persones amb discapacitats físiques ha estat d'un 21,38% en el 2014 respecte del 2010. També és important parar atenció en l'augment de nens i joves entre 0 i 19 anys, ja que aquest ha estat d'un 14,31% [1].

Els usuaris de cadires de rodes són persones que no poden caminar amb l'ajuda de les seves cames per falta de sensibilitat i problemes en la medul·la espinal, ja sigui de naixement, accident o qualsevol altra causa. La medul·la espinal forma part del sistema nerviós i va de la base del cervell fins a la zona lumbar. Qualsevol interrupció d'aquesta pot causar paràlisi de la mobilitat, manca de sensibilitat i control dels òrgans per sota de la zona afectada.

Les conseqüències seran més o menys greus depenent del nivell de la lesió. Si la interrupció es produeix a nivell cervical causa el que s'anomena tetraplegia. Consisteix en la pèrdua o disminució de la sensibilitat i mobilitat de les extremitats superiors i inferiors. En canvi, si la interrupció es produeix a nivell toràcic i lumbar es diu que es pateix paraplegia. Consisteix en la falta de sensibilitat i paràlisi (total o parcial) de les extremitats inferiors així com també de la part del tronc per sota de la zona afectada. Si els problemes de mobilitat es deuen a malalties com l'esclerosi múltiple, paràlisi cerebral o el Parkinson són a causa de problemes o alteracions en el cervell.

Les causes que han provocat l'estat d'aquestes persones, ja sigui lesió medul·lar o malaltia, com per exemple espina bífida o esclerosi múltiple, poden ser fruit d'un traumatisme o d'origen congènit i es poden presentar en diferents graus de discapacitat. És per això, que la tecnologia ha anat evolucionant per trobar aparells i dispositius auxiliars que facin la vida més còmode als afectats i al seu entorn, i que els hi facilitin el procés de convivència social d'una forma més natural, sense sentir-se exclosos i ser autosuficients.

Aquest aparells i dispositius auxiliars amb el pas del temps s'estan perfeccionant tecnològicament i permetent que aquestes persones es desenvolupin d'una manera

inclusiva, ajudant-les tant de forma física com moral. Moltes d'aquestes tecnologies noves en l'actualitat són massa cares i no tothom pot recórrer a aquest tipus d'ajuda. Això fa que aconseguir desenvolupar nous dispositius a un cost inferior sigui un objectiu molt important.

Aquest tema ha anat adquirint més importància en la societat per aconseguir que aquestes persones puguin fer una vida normal i ser autosuficients.

Fins a dia d'avui aquestes lesions són irreversibles i la investigació en aquest camp és el tema central de molts estudis. Per al moment, l'únic que es pot fer és prevenir en la major mesura possible aquest tipus de lesions. En cas que ja no sigui possible evitar-ho, cal ajudar al pacient a través de rehabilitació i atenció mèdica per tal de que la persona sigui capaç de conviure amb la seva invalidesa i pugui ser autosuficient.

A nivell de Catalunya hi ha centres especialitzats en la neurorehabilitació que tracten aquests problemes. Cal destacar el Institut Guttmann a Barcelona [2] i la Clínica San Vicente a Madrid [3].

A part, existeixen nombroses associacions que afavoreixen la seva integració social. A nivell estatal [4] cal esmentar la Confederació Coordinadora Estatal de Minusvàlids Físics d'Espanya (COCEMFE) [4] o la Plataforma Representativa Estatal de Discapacitats Físics (PREDIF) [6] entre altres. A nivell mundial s'han trobat destacables les associacions Americans Disabled for Accessible Public Transit (ADAPT) [7] i Disabled Peoples' International (DPI) [7].

## 2.1. Objectius del projecte

En aquest treball es pretén veure les característiques d'aquests dispositius, i més en concret, estudiar el model de cadira elèctrica Jive-M de la marca Quickie. L'objectiu és analitzar i comprendre el funcionament de la cadira de rodes reconeixent els diferents mecanismes i parts que la componen.

També es pretén fer una anàlisi teòrica del seu funcionament per ordinador amb l'ajuda de certs programes. Aquest estudi consisteix en simular amb l'ajuda de la llibreria EMR de Matlab cada component de la cadena energètica de la cadira elèctrica per veure com reacciona el sistema depenent de l'entorn en que es trobi.

## 2.2. Motivació

La motivació inicial del projecte es deu a que a les dues estudiants els agrada l'electrònica i estan interessades en aquest tema perquè troben que és un àmbit molt actual del que els agradaria saber més.

A més, un cop analitzada la quantitat de persones afectades per aquests tipus de discapacitats i l'augment anual, sobretot el corresponent al del sector jove de la població, es creu que el món de les cadires de rodes, i més en concret el de les elèctriques, necessita progressar. Cada cop són més utilitzades i es creu que, com s'explicarà més endavant, caldria introduir tecnologies noves i adaptar-les a la vida moderna, i reduir les limitacions que els usuaris d'aquest aparells pateixen.

## 2.3. Abast del projecte

Pel que fa a l'abast, en aquest projecte no és pretén dissenyar una cadira, sinó analitzar-ne una real. L'abast, per tant, és conceptual. Tot i així, en l'apartat d'innovació en els sistemes tecnològics i en les conclusions, es volen buscar, explicar i plantejar possibles implementacions que facin la cadira més completa.

## 3. Anàlisi d'antecedents

### 3.1. Història de la cadira de rodes

Els intents de crear dispositius per suplir l'absència o falta de funcionalitat de les persones en l'àmbit físic han estat nombrosos al llarg de la història. Els primers indicis d'aquests esforços es remunten a fa milers d'anys, com per exemple, a Kazajstan pels voltants del 2300 aC on es va descobrir l'empremta d'una pròtesis.

Es creu que els veritables inicis de les cadires de rodes daten del 4000 aC, època en que es van inventar la cadira i la roda, però la primera representació gràfica que s'ha trobat correspon a l'any 525 aC a Xina on es veu la implantació de rodes en el mobiliari [7] [10].

Tot i que la data i els inventors de la primera cadira de rodes no estan clars, la primera cadira de rodes concebuda amb la finalitat de transportar a una persona, amb un disseny similar a les cadires actuals, va ser fabricada l'any 1595 per un inventor desconegut. Es va dissenyar per al monarca espanyol, Felip II. Estava equipada amb quatre rodes petites, reposapeus i respatllet reclinable.

Més endavant, apareix el primer vehicle impulsat per l'usuari l'any 1655 construït per Stephen Farlef per al seu ús propi.

L'any 1783 es presenta la cadira "Bath", inventada pel fabricant John Dawson a la ciutat anglesa de Bath, d'on pren el nom. Aquest model de tres rodes dominà el mercat fins al segle XIX. No obstant això, no era massa còmoda. Durant el segle següent se li van aplicar millores, pensant sobretot en el confort de l'usuari, com el respatllet i el reposapeus ajustables. Una patent de 1869 descriu una cadira amb rodes posteriors empeses pel mateix usuari i rodes davanteres petites. Entre 1867 i 1875 se li van seguir afegint millores, com els cercols de propulsió o rodes de goma [11].

L'any 1900 es van introduir les rodes radiades a les cadires manuals i no va ser fins el 1916 que es va fabricar la primera cadira de rodes motoritzada a Londres. Les primeres cadires motoritzades eren manuals adaptades, amb diversos sistemes d'engranatges poc eficients i difícils de manejar. Posteriorment, s'adoptaren motors de tracció directa i sistemes de control més precisos. Moltes de les millores dutes a terme en aquesta època van ser conseqüència de la Guerra Civil dels Estats Units, i de la Primera Guerra Mundial [10].

Amb l'arribada de l'automòbil va sorgir la necessitat de transportar-la i, per aquest motiu, es va crear la cadira plegable.

El creador de la primera cadira d'estructura tubular plegable va ser l'enginyer mecànic Harry Jennings l'any 1932 a Nova York. La va idear per a un amic paraplègic anomenat Herbert Everest, un enginyer miner. Junts fundaren Everest&Jennings, una companyia que monopolitzaria les vendes de cadires de rodes durant molt anys.

El disseny original d'aquesta primera cadira plegable es segueix utilitzant avui en dia en cadires bàsiques a tot el planeta, evidentment amb algunes millores.

En les últimes dues dècades ha tingut lloc un enorme avanç en aquest àmbit, tant per les manuals com per les elèctriques. S'ha adoptat la implantació de nous materials, millora del rendiment i, sobretot, la possibilitat de personalitzar les cadires d'acord a les necessitats individuals de cada persona.

En l'actualitat, en les cadires manuals s'està optant pel lema: Menys és més [7]. Consisteix en aconseguir cadires més lleugeres i compactes, adaptades al ritme de vida modern. I, de cara a un futur proper, sembla que es seguirà la mateixa tendència investigant sobre nous materials a utilitzar i incorporant innovacions tecnològiques en el disseny.

L'esport i l'oci juguen un paper important en el futur d'aquest sector, constantment apareixen models específics per cada esport i altres activitats, creant nous camps d'investigació i desenvolupament [10].

El camp de les cadires elèctriques és molt més obert, degut al rapidíssim avanç de la electrònica. La meta més propera podria ser el desenvolupament de motors amb menor consum i la implantació en el mercat de noves bateries, que recarreguin més ràpid i tinguin major capacitat. Tot destinat a oferir la major autonomia diària a l'usuari.

Més endavant, en l'apartat d'innovació en els sistemes tecnològics, s'explicaran més a fons els camps d'investigació que s'estan duent a terme i que es poden aplicar en els dissenys de cadira en un futur proper.

## 3.2. Estat de la tècnica

### 3.2.1. Classificació de les cadires de rodes

#### Tipus de cadires manuals

Les cadires de rodes manuals poden ser impulsades pel propi ocupant fent girar les rodes empenyent els cercols acoblats a l'exterior d'aquestes. Es fabriquen en dos models principalment, plegables i rígides. Normalment estan fabricades de materials ultralleugers com l'alumini i el titani al carboni amb un revestiment de kevlar per a donar-li major duresa, i sobretot lleugeresa, ja que l'usuari ha de ser capaç d'aixecar-la i guardar-la, aconseguint així un cert grau d'autonomia. També poden ser impulsades per un assistent [12].

Els tipus de cadires manuals són [12]:

**Estàndard:** Aquesta és la cadira més econòmica. Té un disseny clàssic, són robustes i pesades fabricades en acer, la majoria són models plegables.

Són útils per a ús esporàdic, i s'usen per a persones que no es propulsen massa de forma independent o en casos que l'acompanyant ha d'empènyer i el pes no és un factor determinant.



Figura 3.1. Cadira estàndard

**Lleugera (semi-activa):** Són cadires fabricades majoritàriament en alumini, plegables i amb les rodes del darrere equipades amb Quick Release (desmuntatge ràpid amb només prémer un botó), el seu disseny les fa fàcilment transportables i la força necessària per impulsar és menys que a les cadira similars d'acer.

**Ultralleugera (activa):** Aquestes cadires, es podrien definir com cadires de gamma alta, ja que estan fetes de materials com el titani o la fibra de carboni, també són cadires de xassís rígid i de molts menys pes que les convencionals d'acer o alumini. En aquest tipus de cadira s'aconsegueixen plegats realment compactes.



Figura 3.2. Cadira ultralleugera

Estan fetes per a usuaris amb un perfil jove i actiu, amb equilibri suficient, ja que és freqüent que el centre de gravetat estigui desplaçat per alliberar el pes de les rodes davanteres i així facilitar els moviments.

**Passiva:** Aquesta cadira està destinada a usuaris amb mobilitat molt reduïda o nul·la. Per al seu disseny es deixen de banda factors com el pes o la mida de la cadira.



Figura 3.3. Cadira passiva

**Pediàtrica:** Dissenyades per a nens i adolescents tenen regulacions que permeten ajustar l'ample i diferents components quan el nen va creixent.

**Esportiva:** En aquest apartat s'engloben totes les cadires dissenyades per a ús esportiu. Cada disciplina esportiva té la seva cadira específica amb un disseny propi. Algunes característiques comunes: centre de gravetat baix, rodes inclinades i sistemes antiblocatge especials.

Dins de les cadires esportives tenim els handbikes de competició, tricicles de mà amb els últims avenços del món de la bicicleta incorporats amb els quals es pot anar realment ràpid.



Figura 3.4. Handbike (bicicleta de mà)

**D'oci:** En aquesta categoria a més de handbikes més orientats a un ús urbà o fins i tot de muntanya, es poden trobar cadires específiques per a la platja i l'aigua, amb models inoxidable.

### **Tipus de cadires elèctriques**

Les cadires de rodes elèctriques són accionades per bateries de 40-70Ah recarregables. L'ocupant controla la cadira per mitjà d'un joystick i un petit panel de control que dona accés a configurar la velocitat i, en alguns models, la posició del respall, seient i reposapeus. Aquest aparell es col·loca en un dels suports per als braços [12].

Per als usuaris que no poden utilitzar les mans existeixen dispositius controlables amb la boca.

Els tipus de cadires elèctriques són [13]:

**Estàndard:** És la més usual amb diferència, la clàssica cadira elèctrica amb rodes de mida moderada i una amplada que li permet passar per les portes, n'hi ha de tracció posterior, les més comuns, i també davantera i central. Cadascuna d'aquestes traccions es condueix de manera diferent i les seves possibilitats de maniobra també difereixen bastant.

- Tracció central: Giren sobre si mateixes de manera que no necessiten tant espai per maniobrar.
- Tracció davantera: Porten les rodes grans a la part davantera i són bones salvant obstacles, per contra la direcció és molt més complexa.
- Tracció posterior: És la més còmoda de conduir i la més triada entre els usuaris.

**D'exterior:** Aquestes cadires en general són grans, tenen més autonomia, disposen de rodes més grans i de suspensió. Estan dissenyades principalment per exteriors, per això el seu xassís és fix i ofereix més robustesa, sent així més pesades a causa de les seves grans bateries.



Figura 3.5. Un tipus de cadira d'exterior

### **Tipus de cadires híbrides**

Es pot classificar les cadires híbrides en dos grups diferents, les cadires híbrides que es controlen amb joystick i les que no usen joystick ja que usen sistemes de sensors en els cercols. Les característiques d'ambdues cadires són que els mecanismes poden ser retirats i es pot utilitzar la cadira de forma manual, però tenen l'inconvenient que l'autonomia és més reduïda que en les cadires elèctriques normals, això és degut principalment a la disminució de les bateries.

També es troben les cadires bipedestadores que poden ser dels dos tipus.

De cadires híbrides es troben tres tipus [13]:

**Amb joystick:** Aquestes cadires són compostes per una cadira manual convencional i components que se li han afegit per fer-la funcionar de manera elèctrica. L'avantatge d'aquestes cadires és que aquests components estan fabricats de manera que poden ser aplicats de forma manual i ràpida.

**Amb sensors en els cercols:** Aquestes cadires no porten joystick, sinó que porten un sistema de sensors en els cercols de les rodes. El funcionament és bastant senzill, la



persona que el fa servir s'impulsa com si fos una cadira manual, llavors els sensors dels cercols detecten que la persona s'impulsa i s'activa el motor de la roda corresponent de manera que ajuda aportant fins a un 75% de la força necessària per moure la cadira.

**Bipedestadora:** Aquestes cadires són de gran utilitat ja que permeten passar d'un estat a un altre, d'assegut a dret i a la inversa, tenint així beneficis terapèutics.

Aquestes cadires existeixen de manera manual i elèctrica. L'únic punt en contra és que aquestes cadires no són lleugeres a causa dels mecanismes addicionals que tenen per aconseguir la bipedestació.



Figura 3.6. Cadira bipedestadora

### 3.2.2. Innovació en els sistemes tecnològics

En els últims anys la tecnologia ha anat avançant en moltes àrees, innovant per a satisfer les noves necessitats que han anat sorgint.

Centrant-nos en les cadires de rodes, la tecnologia d'aquest sector s'ha desenvolupat molt degut a la gran varietat de necessitats que tenen els seus usuaris, ja que cada discapacitat requereix prestacions diferents, i per tant, cal que les cadires es puguin personalitzar el màxim possible.

En general, les innovacions en les cadires de rodes han pres dues direccions, una és l'estudi de d'interfase home-màquina, i l'altra és la capacitat i els tipus de moviments.

En el cas de la innovació sobre la interfase home-màquina, actualment els pacients són capaços de donar ordres a la cadira a través de diferents mecanismes, ja sigui per mitjà de botons, del moviment del cos o utilitzant comandes de veu.

Pel que fa a l'estudi del moviment, s'ha aconseguit que les cadires de rodes es moguin tan sols en pulsar un botó o movent una palanca, que la cadira s'elevi i que reaccioni al seu entorn evitant obstacles o desnivells.

Cal destacar un camp d'investigació que està agafant més força al llarg dels últims anys. Es

tracta de l'ús de sensors biomèdics i d'Internet de les coses (Internet of Things o IOT) en les cadires de rodes [14].

El conjunt de sensors biomèdics i el material necessari que requereixen s'instal·len en les cadires sense necessitat de canviar-ne l'estructura, fent ús de la mínima electrònica possible. Permeten la recollida de dades en temps real de l'usuari tals com electrocardiogrames, mesures cardiovasculars o mesures per a monitoritzar la respiració sense que la persona hagi de fer res. Aquesta informació es pot veure en una pantalla col·locada també en la cadira o en el lloc on es realitza la supervisió. La transmissió d'aquesta informació es realitza a través d'Internet sense fils [16]. El IOT consisteix en connectar digitalment objectes del dia a dia amb Internet i permet poder recopilar informació.

També s'estan implementant sistemes de geolocalització que permeten saber on es troba la persona en tot moment en cas de qualsevol emergència. A banda d'això, existeix un xip d'uns 10 mil·límetres cúbics, ideat fa pocs anys per l'exèrcit nord-americà, que pot rastrejar ubicacions sense la necessitat de satèl·lits [17].

Tots aquests avenços estant essent estudiats per a moltes empreses. La capdavantera del sector, i de la qual s'ha extret molta informació, és Intel. Disposa d'un projecte sobre una cadira de rodes intel·ligent anomenat Galileo [18] que ha disposat de l'ajuda del físic i teòric Stephen Hawking.

## 4. Plec de condicions i prestacions

Una cadira de rodes ha de tenir com a objectiu permetre a l'usuari la màxima funcionalitat, comoditat i mobilitat. Per complir amb aquest objectiu, la cadira ha d'estar pensada per ajustar-se a la persona, no és la persona la que ha d'adaptar-se a la seva cadira. Si s'escull una cadira de rodes no apropiada pot resultar incòmoda i poc eficient. Un exemple pot ser tenir un seient en el qual l'usuari rellisqui cap endavant o s'inclini cap a un costat. El resultat es veurà afectat ja que l'energia de l'usuari es malgastarà de manera innecessària a causa de l'esforç continuat per modificar la seva postura. Una cadira de rodes inadequada pot arribar a provocar una discapacitat extra.

Quan s'ha d'escollir una cadira de rodes s'han de tenir en compte molts factors . Una cadira de rodes ha d'adaptar-se totalment a la persona que l'utilitzarà, és important assegurar una bona elecció.

A continuació es donen una sèrie d'indicacions que poden ser útils a l'hora de fer la tria [19]:

- **Adequació a l'usuari:** Ha d'estar adaptada a les dimensions, pes i tipus de discapacitat de l'usuari.
- **Les dimensions de la cadira:** Habitualment hi ha diverses talles per a cada model i alguns són regulables en alçada, amplada i profunditat.
- **Les dimensions i característiques de l'entorn:** Cal tenir en compte quins seran els llocs habituals d'ús; l'habitació, el bany, el cotxe, el barri, etc.  
Hi ha cadires per a exteriors, interiors o mixtes. Per poder passar per les portes han de quedar 5 cm a cada costat de la cadira (si aquesta mesura 70 cm d'ample, la porta haurà de mesurar almenys 80 cm).
- **Les activitats diàries a realitzar:** S'ha de valorar si la persona en situació de dependència es pot propulsar, si recorrerà distàncies llargues o si estarà molt temps davant d'una taula.
- **Facilitat de plegat i transport:** S'ha de plegar o desmuntar amb facilitat.  
Les més senzilles són les de xassís plegables i les de rodes d'alliberament ràpid.  
És important tenir en compte el pes total de la cadira, com menor sigui el pes major facilitat de transport (el pes oscil·la entre els 15 kg de les cadires manuals i els més de 60 kg de les cadires elèctriques).
- **Seguretat:** Ha de ser estable davant la bolcada i ha de suportar el pes de l'usuari.

- **Procedència i qualitat:** Les cadires de rodes més econòmiques solen tenir un nivell de qualitat inferior. La seva procedència sol ser la Xina i malgrat ser productes totalment garantits, tenen una vida útil menor.

Sovint es considera que el que més afecta a la maniobrabilitat de la cadira són el seu pes i el material amb què estigui feta la seva estructura. No obstant això, hi ha factors més importants com el seient i la postura que se'n derivi, la distància entre eixos de les rodes, la posició i la mida de les rodes, fins i tot la forma en què la cadira ha estat ajustada o muntada, que poden influir decisivament en la funcionalitat i mobilitat de l'usuari.

Alguns d'aquest factors més importants són [20]:

- **La distribució del pes entre les rodes del davant i del darrere:** Més pes sobre les rodes davanteres provoquen major fregament, però al mateix temps fa que la cadira sigui més estable. Una cadira de rodes estàndard té una distribució del pes de 50/50%, mentre que una cadira lleugera té una distribució del pes de 80% a la roda del darrere i 20% a la davantera (aproximadament). Això fa que rodi millor que una estàndard però que sigui menys estable.
- **Centre de gravetat de la cadira:** En moure el centre de gravetat cap enrere i cap amunt s'augmenta el pes sobre les rodes del darrere i fa que la cadira sigui més fàcil de manejar però més inestable. Si es desplaça el centre de gravetat cap avall i cap endavant, la cadira guanya en estabilitat però és més difícil de manejar.

Per tal de realitzar una bona elecció de la cadira, a més de seguir les indicacions anteriors i de tenir en compte la seva maniobrabilitat, també convé analitzar l'ergonomia, el material i les prestacions de cada part de la cadira.

## 4.1. Ergonomia

Per dissenyar o seleccionar una cadira, s'han de tenir en compte diversos aspectes com són l'economia i la qualitat, i que sigui adequada per a les posicions que el pacient adoptarà en realitzar les diverses activitats. Un bon disseny és molt important per no causar malalties en el pacient.

Per arribar a aquest disseny és important començar realitzant un estudi sobre la forma òssia del cos del pacient i les postures que aquest pren en seure, ja que depenent de la postura, la descàrrega del pes és diferent.

Per a què el cos reposi correctament és important que la superfície del seient no sigui totalment rígida, però és també molt important que no sigui plana, ja que això pot provocar compressió en els teixits i tenir conseqüències nocives per als músculs i nervis. Per evitar-ho és recomanable que la forma del seient sigui corba seguint la fisonomia de les natges de manera que l'àrea de contacte sigui la major i en conseqüència la distribució de pressions sigui més gran [21].

Si l'usuari de la cadira de rodes ha de passar bastants hores assegut en ella, és totalment recomanable que s'adquireixi juntament amb la cadira de rodes un coixí antiescares. Els coixins antiescares estan dissenyats per redistribuir les pressions exercides pel pes del cos en els glutis de manera que no es produeixin ferides ni hematomes en els punts de pressió crítics. Milloren la transpiració i produeixen una major sensació de benestar i confort en l'usuari de la cadira. El cost d'aquest tipus de producte no és molt elevat en funció de la millora que aconsegueixi [22].

## 4.2. Material

A l'hora de triar la cadira de rodes, és molt important també valorar el pes que tindrà aquesta en el cas que sigui manual, ja que l'usuari s'haurà d'impulsar o requerirà l'ajuda d'una tercera persona per impulsar-lo. Així, podem especificar una escala senzilla de major a menor pes en funció del material amb què està construïda la cadira de rodes [22]:

- **Acer:** És el material més robust, però per contra és el més pesat. Els pesos d'aquestes cadires oscil·len entre els 19 i 21 kg.
- **Acer Lleuger:** És igual que l'anterior, però s'usa un gruix menor de tub, de manera que el pes es redueix mantenint unes prestacions de resistència similars a les tradicionals. Els pesos oscil·len entre els 15 i els 17 kg.
- **Alumini:** L'alumini és el més lleuger dels tres, presenta la principal característica que a l'hora de traslladar la cadira d'un lloc a un altre el procés es realitza de forma còmoda atès que els pesos d'aquestes cadires es troben entre els 9 i els 12 kg.

## 4.3. Parts de la cadira

### 4.3.1. Seient

L'elecció del seient és transcendental per a oferir la comoditat i els requeriments que l'usuari necessita [23].

Les característiques que ha de complir són:

- ✓ Forma anatòmica que respecti el cos de l'usuari
- ✓ Que eviti la sensació d'inestabilitat
- ✓ Tela confortable per a l'usuari
- ✓ Tou, impermeable i lliure d'agents tòxics
- ✓ Agradable al tacte i contacte corporal

Cal mesurar l'amplada del maluc i la llargada de la cuixa per saber la mesura de seient més convenient. El seient ha de ser de 2 a 4 cm més ample que els malucs i la vora davantera ha de quedar a 3-5 cm de la part posterior del genoll.

Si el seient té una inclinació de 1-4º cap enrere ajudarà a evitar el lliscament cap endavant de la persona [24].

Generalment, l'usuari ha de seure còmodament i si cal ser capaç de portar un abric.

### 4.3.2. Respatller

El respatller té la funció de donar a l'esquena un suport adequat per a descarregar i distribuir el pes. El respatller ha de tenir la forma correcta de la columna vertebral, i protegir la zona lumbar, dorsal i cervical [23].

Les propietats que ha de tenir són:

- ✓ Suport adequat per l'esquena
- ✓ El material de contacte ha de ser transpirable
- ✓ Interacció mecànica amb el seient
- ✓ Ha de poder canviar de posició
- ✓ Tou, impermeable i lliure d'agents tòxics
- ✓ Agradable al tacte i contacte corporal

Hi ha respatllers de diferents altures, la seva elecció dependrà sobretot del control de tronc

que tingui la persona en situació de dependència i sempre serà millor un suport rígid que un flexible.

Si el control de tronc és bo, el suport ha de quedar per sota del omòplat, uns 2,5 cm. El suport no ha d'interferir en moure el braç cap enrere perquè la persona es pugui impulsar. Amb poc control de tronc, el suport haurà d'arribar a l'alçada de l'espatlla i és convenient que la cadira estigui lleugerament basculada cap enrere, per ajudar a mantenir l'equilibri [19].

Els respatlles abatibles estan recomanats a aquelles persones que no són capaces d'estar correctament assegudes. El respatlle abatible permet un major suport de l'esquena i per tant, una millor postura.

Totes les cadires són susceptibles de posar capçal, és el més adequat quan la persona no és capaç de sostenir el cap [20].

#### **4.3.3. Suport de braços**

El material d'aquesta part de la cadira ha de ser resistent als talls i al desgast. Ha d'estar pensat per tal de poder-hi instal·lar el mòdul de control. Les distàncies i les altures haurien d'estar establertes per al usuari final amb el que es minimitzaria la fatiga que es pogués provocar. L'ajust d'altura del suport de braços sempre és important si es vol evitar sobreesforços del coll i les espatlles o si usuaris extremadament petits necessiten ser proveïts per una cadira de rodes.

Els requisits que ha de complir són [23]:

- ✓ Fàcil accés i manipulació dels dispositius de control
- ✓ Dimensions adequades
- ✓ Resistent a impactes, desgast i manipulació

Es necessiten suports extraïbles de braços per entrar i sortir de la cadira de rodes des del lateral. Els suports de braços desmuntables adquireixen més importància quan, a més d'entrar i sortir pel lateral, cal circular en un lavabo, entre taules i similars.

L'ideal és que siguin regulables, per poder adaptar-los a cada usuari. Es recomana que el suport quedi uns 2 cm per sota del colze amb el braç estès [24].

#### 4.3.4. Reposapeus

Hi ha tres tipus principals de reposapeus [20]:

- **Fixos:** van soldats a l'estructura de la cadira. En el cas d'ascensors estrets o cases amb passadissos petits no es pot escurçar el llarg de la cadira pel que es poden tenir problemes per usar-la.
- **Extraïbles:** es poden treure i posar a voluntat el que elimina el desavantatge anteriorment esmentat.
- **Elevables:** tenen un colze que permet graduar l'altura, per d'aquesta manera poder tenir les cames estirades. Molt útil en cames que s'inflamen, o escaioles al genoll. També és útil quan l'usuari no pugui tenir la cama doblegada. Aquest accessori permet canviar l'angle del genoll fins a tenir la cama completament estirada.

Els reposapeus han d'estar ben regulats, mínim a 5 cm des del terra, però es recomana 10-13 cm per evitar ensopegades. Els malucs i genolls han d'estar correctament alineades i formar un angle de 90º. Les cuixes han d'estar recolzades, però sense massa pressió.

Si els reposapeus estan massa alts, les cuixes no donaran suport al seient i hi haurà massa pressió sobre els glutis. Si els reposapeus estan massa baixos, la persona lliscarà cap endavant al seient.

També s'ha d'evitar que el peu llisqui o es mogui en el propi reposapeus [19].

#### 4.3.5. Rodes

El factor fonamental que defineix la necessitat de comprar una cadira de rodes amb roda posterior gran o petita és el fet de si la persona es pot impulsar, és a dir, si té força en els braços per poder desplaçar-se a si mateix sense necessitat de l'ajuda d'un tercer. Si la persona busca la seva pròpia autonomia l'elecció serà sens dubte la roda del darrere gran, en cas contrari, es tria la roda del darrere petita. La roda petita és la més indicada per a interiors perquè gira millor i ocupa menys espai, mentre que la roda gran és més còmoda per sortir al carrer [22].

Pel que fa a la roda en si, pot ser massissa o pneumàtica. La roda pneumàtica és més còmoda ja que absorbeix millor les imperfeccions del terreny, però es pot punxar [20].



### 4.3.6. Parts especials de cadires de rodes elèctriques

#### Estructura

L'estructura d'una cadira de rodes és una de les parts més importants i fonamentals del disseny, ja que sobre ella s'apliquen les forces generades tant pels dispositius elèctrics com pels mecànics, a més de l'usuari i alguns cops [23].

Les condicions que ha de complir una bona estructura són:

- ✓ Ser lleugera
- ✓ Preparada per tenir una llarga vida d'ús
- ✓ Contenir els dispositius electrònics, mecànics i de control
- ✓ Suportar carregues estàtiques i dinàmiques
- ✓ Dissipar l'efecte de les vibracions
- ✓ Fàcil de netejar

#### Comandaments de control de cadires de rodes elèctriques

Els comandaments poden dirigir-se de diverses formes, adequant-se a la malaltia de l'usuari, poden dirigir-se amb la mà, el mentó, el peu, el nas, el cap o qualsevol altra part del cos que conservi mobilitat i precisió suficients. També poden ser accionats per sensors d'ultrasons que detecten els moviments del cap, per sistemes d'aspiració, per botoneres, per sistemes de reconeixement de veu, per llums alternants o per sistemes informàtics [19].

Com accessoris més comuns presenten:

- **El doble comandament:** un per a l'usuari i un altre col·locat al suport per l'acompanyant.
- **El comandament abatible:** per a permetre l'aproximació a la taula, el comandament de mentó i el comandament sobre tauleta, per a aquells usuaris que no puguin estirar els braços, el comandament es col·loca sobre una tauleta que es recolza en els suports dels braços.

Els controls es poden personalitzar programant la velocitat, l'acceleració i fins i tot la sensibilitat del joystick ajustant-se així a les necessitats i capacitats de cada usuari.

## 5. Anàlisi electromecànic de la Jive-M

En aquest capítol s'expliquen tots els components de la cadena energètica de la cadira de rodes elèctrica. En cada apartat es defineix el component, el seu funcionament i aplicacions, els diferents tipus que existeixen i, més en concret, es descriu amb detall el tipus del que disposa el model Jive-M.

La cadira estudiada consta de dos motors que tenen associat el circuit que mostra la Figura 5.1. Només s'ha pres per analitzar la meitat del circuit real per a simplificar la simulació. Cada motor està alimentat per dues bateries en sèrie que amb l'ajuda d'un convertidor li proporciona una tensió i corrent determinats. Alhora, cada motor fa girar una de les rodes centrals de la cadira. La transmissió de gir del motor a la roda es realitza amb l'ajuda d'un reductor.

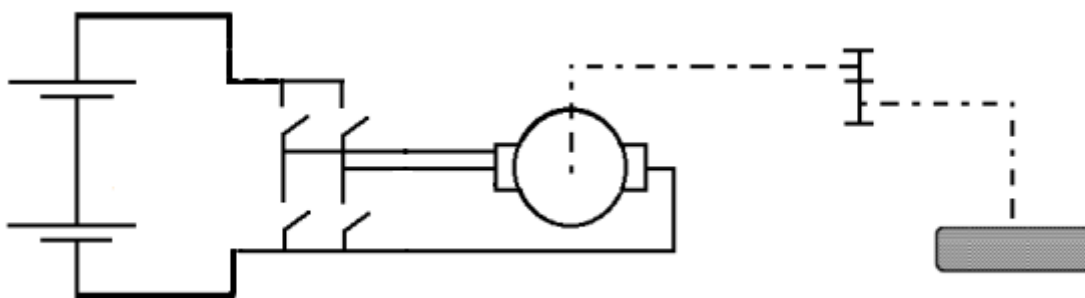


Figura 5.1. Esquemàtic de la cadira

### 5.1. El sistema d'emmagatzematge d'energia

La font d'alimentació és un dels principals components de qualsevol producte de mobilitat modern propulsat a partir de motors elèctrics, com és el cas de la cadira de rodes que s'estudia en aquest treball. Es poden diferenciar dos grups de fonts d'alimentació, les que necessiten estar permanentment connectades a la xarxa per a funcionar o les que disposen d'un sistema d'emmagatzematge d'energia [25].

En el mercat es poden trobar diferents tipus de sistemes d'emmagatzematge com les bateries electroquímiques, els ultracondensadors o les bateries inercials. A continuació es procedirà a explicar amb més deteniment les bateries electroquímiques, els diferents tipus que existeixen, i més en concret, les bateries que la cadira de rodes estudiada té com a font d'alimentació.

### 5.1.1. Bateries electroquímiques

Les bateries electroquímiques són components que atorguen energia a partir de reaccions químiques, converteixen el potencial químic en electricitat durant l'etapa de descàrrega i a l'inversa quan es carreguen. Estan formades per conjunts de cel·les agrupades i connectades entre si, cadascuna d'elles composta per dos elèctrodes (positiu i negatiu) immersos en un electròlit. La transformació d'energia química en elèctrica es produeix a través de reaccions oxidació-reducció en els elèctrodes que generen un corrent d'electrons [25].

En l'actualitat s'està buscant com millorar que es pugui emmagatzemar més energia en un espai i pes més reduïts i, a més, que el cost de fabricació sigui inferior. Per aquest motiu són les més adients per a implementar en les cadires de rodes [26].

Les característiques principals de les bateries són: l'estat i la capacitat de la càrrega, la tensió nominal que pot subministrar i l'energia i la potència específiques, entre d'altres [25].

Entre els diferents tipus de bateries que existeixen cal destacar les següents [26] [27].

- **Bateries de Plom-àcid:** Les bateries de Plom-àcid o de plom obert són les bateries que fa més temps que s'utilitzen. Tenen un cost baix, una alta potència i un gran rendiment. Per contra, tenen una baixa densitat d'energia, són molt pesants i el seu rang de temperatures és molt petit. El període de càrrega dura de 8 a 10 hores i duren molt de temps. Tot i que el plom sigui un material pesant se'n pot reciclar un 90% del contingut.
- **Bateries de base Níquel:** Les bateries de Níquel són fàcils de fabricar, de baix cost i es poden descarregar i sobrecarregar moltes vegades sense perdre la seva capacitat. El Níquel es caracteritza per ser un element amb millors propietats electroquímiques i més lleuger que el Plom. Dins dels tipus de bateries de Níquel en destaquen dues, les bateries de Níquel-Cadmi i les bateries de Níquel-Hidruro metàl·lic.
- **Bateries de base Liti:** Les bateries de Liti són les més eficients ja que tenen una gran densitat d'energia, poques pèrdues i necessiten poc manteniment. El principal inconvenient és que necessiten un circuit de protecció que limiti el voltatge i corrent per a que no es produeixi una degradació. El Liti és el metall més lleuger i té molt

bones propietats electroquímiques que proporcionen altes energies i potències específiques. Es divideixen en dos grups:

- Bateria d'ions de Liti: són capaces d'emmagatzemar elevades quantitats d'energies i potències, no tenen efecte memòria i si no s'usen no perden gaire capacitat. Per contra, no permeten la descàrrega, es sobreescalfen amb facilitat i de moment el seu cost és elevat.
- Bateria de polímer de Liti: són de les més recents i encara es troben en fase de desenvolupament. Tenen propietats similars a les bateries d'ions de Liti però amb algunes millores, com tenir dimensions inferiors, tenir una major densitat d'emmagatzematge o que l'electròlit és un polímer que es pot trobar en estat sòlid o gelatinós. El seu inconvenient és que es tornen inestables si es sobrecarreguen o si es descarreguen per sota d'un valor determinat pel fabricant.

### 5.1.2. Bateria de la Jive-M

La cadira de rodes elèctrica que s'estudia en aquest treball consta de dues bateries de Liti tipus Gel de 12 volts cadascuna connectades en sèrie, donant un total de 24 volts. Tenen una capacitat de càrrega de 70 Ah. Les característiques de les bateries de Liti s'han mencionat en l'apartat anterior. A més, es caracteritzen per ser bateries de cicle de llarga durada i que no requereixen manteniment [28].

Les bateries de cicle de llarga durada són aquelles que alliberen energia uniformement durant un llarg període de temps. Necessiten menor volum però majors requisits tecnològics, en comparació amb les usades en automòbils o altre tipus de vehicles, cosa que provoca que siguin més costoses.

Que siguin bateries del tipus "sense manteniment" significa que no exigeixen cap mena de manteniment, tal i com el propi nom indica, a excepció de la recàrrega regular. Es recomana que aquesta sigui diària encara que la bateria no s'hagi descarregat completament [28].

La classificació de tipus "gel" significa que utilitza el mètode d'electròlits, ja explicat anteriorment, però amb la diferència que l'electròlit no es troba en estat líquid sinó en estat gelificat. Aquesta característica afavoreix a que hi hagi menys evaporació i un augment important en la seva vida útil. Destaquen també per resistir cops, vibracions i altes

temperatures. Cal destacar que al estar segellades amb plàstic o metall se'n facilita el transport i qualsevol esquerda que s'hi produeixi n'evita el funcionament [29] [30].

Pel que fa al muntatge en la cadira, es pot visualitzar amb l'ajuda del següent diagrama de circuit de les bateries [28]. Més endavant, s'explicarà amb més deteniment el circuit intern de les bateries.

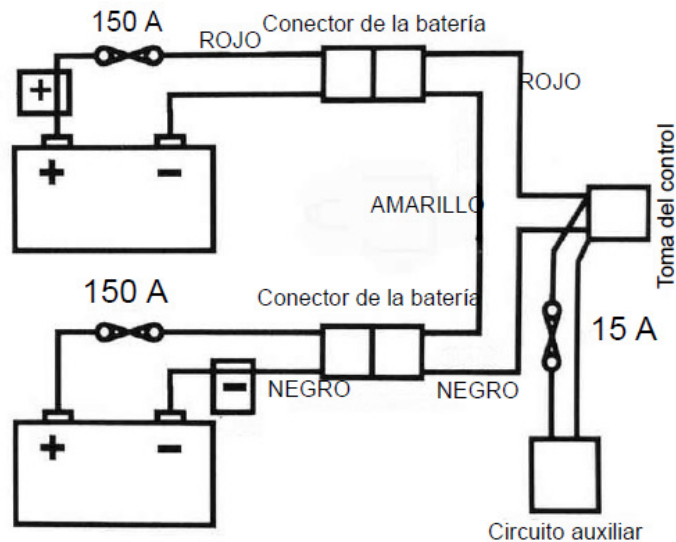


Figura 5.2. Diagrama de circuit de les bateries

## 5.2. El convertidor

Els convertidors són sistemes electrònics que converteixen un senyal d'entrada, amb les seves tensió i corrent associades, en un altre senyal de sortida. Per a poder-ho dur a terme estan compostos per interruptors, generalment transistors, que al commutar de forma controlada modifiquen el senyal que es vol. Cal recordar, que com en tots els sistemes electrònics, també s'hi produeixen pèrdues [31].

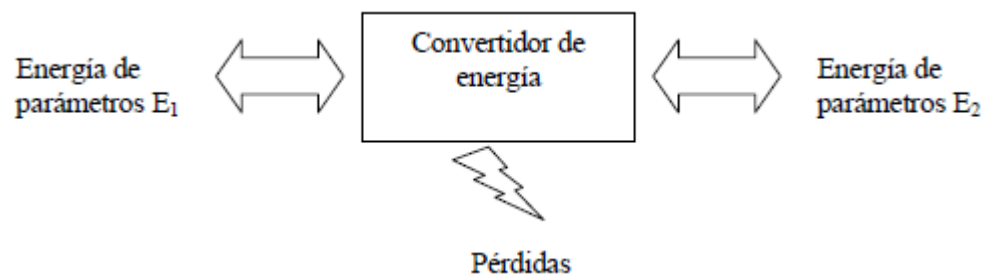


Figura 5.3. Estructura bàsica d'un convertidor

Els convertidors es poden classificar en quatre grans grups depenent dels tipus de senyal a l'entrada i la sortida.

- **Convertidors AC/CC o rectificadors:** Transformen corrent altern, tant monofàsic com trifàsic, en corrent continu. S'usen en màquines de corrent continu, asíncrones o síncrones entre altres.
- **Convertidors CC/CC o choppers:** Modifiquen el valor del corrent continu que rep una càrrega per un diferent de sortida també en continu. Dins d'aquest grup es destaquen els reductors, que donen valors inferiors al senyal de sortida, i els elevadors, que proporcionen valors superiors al senyal de sortida.
- **Convertidors CC/AC o inversors:** El senyal d'entrada que li arriba és en corrent continu i el transforma en corrent altern. S'usen en dissenys que contenen màquines síncrones i asíncrones ja que permeten controlar la freqüència i els valors eficaços de sortida.
- **Convertidors AC/AC o de freqüència:** Tal i com el nom indica, varien senyals de corrent altern amb una freqüència a senyals també de corrent altern amb una freqüència igual o diferent. Els convertidors que modifiquen la freqüència reben el nom de cicloconvertidors. S'utilitzen en sistemes d'arrencada de motors d'inducció per reduir la intensitat demandada.

### 5.2.1. El convertidor de la Jive-M

La cadira estudiada duu un convertidor de tipus chopper en el qual es transformen la tensió i la corrent d'entrada al motor mitjançant un valor  $m$ .

Aquest valor  $m$  pot variar entre 0 i 1, quan el genera energia mecànica.

Les equacions de funcionament són les següents:

$$U_{motor} = mV_{bateria} \quad \text{Equació 5.1}$$

$$I_{bateria} = mI_{motor} \quad \text{Equació 5.2}$$

On  $U_{motor}$  i  $I_{motor}$  són la tensió i el corrent a l'entrada del motor, i  $V_{bateria}$  i  $I_{bateria}$  són la tensió i el corrent que proporciona la bateria.

En la següent Figura 5.4 s'observa la transformació que realitza el convertidor.

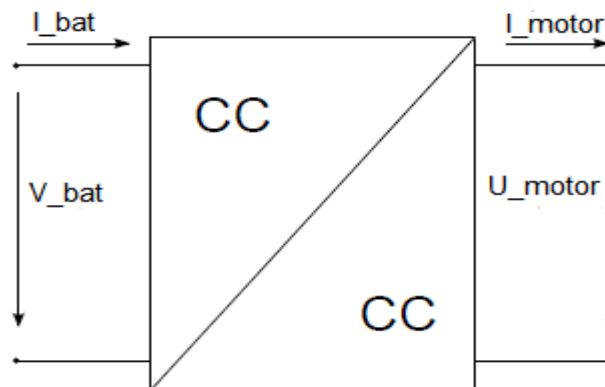


Figura 5.4. Chopper

### 5.3. El motor

El motor és un dispositiu fonamental en el circuit ja que és l'encarregat de transformar l'energia elèctrica en energia mecànica. Els motors elèctrics es caracteritzen per ser màquines giratòries compostes per un estator i un rotor i no perjudicar al medi ambient ja que utilitzen l'electricitat com a font d'energia.

Els més adients per a les cadires de rodes elèctriques són els motors d'imants permanents. A continuació se'n detallen els diferents tipus que existeixen i el seu funcionament. Tot seguit, s'expliquen els motors que duu la cadira estudiada i com s'ha realitzat el seu modelat.

#### 5.3.1. Introducció al motor d'imants permanents

Els motors d'imants permanents són motors elèctrics que poden ser excitats per senyals elèctriques tant contínues com alternes i tenen una gran capacitat per emmagatzemar energia magnètica i no degradar-se amb facilitat.

Es divideixen en dos grups, PMDC i PMAC (Permanent Magnet Direct Current / Permanent Magnet Alternating Current) segons si el motor és de corrent continu o de corrent altern [31]. Els PMAC són més eficients en quant a la conversió energètica i manteniment, en canvi, els PMDC són més senzills de fabricar.

Existeixen varis tipus de PMDC com els motors amb escombretes, motors pas a pas o motors sense escombretes entre d'altres. Com que el motor que s'estudia en aquest treball correspon a un PMDC, no s'han detallat els subgrups en què es classifiquen els PMAC.

### 5.3.2. Els motors de la Jive-M

La cadira disposa de dos motors síncrons d'imants permanents, model 90ZY24-450D (Figura 5.5), un per cada roda motriu, les centrals. Aquest tipus de motors és caracteritzen per la seva alta densitat de potencia i eficiència. També es té en compte que el pes i volum d'aquests motors és menor respecte als d'inducció. Això fa que siguin una bona opció en les aplicacions de mobilitat [34]. La Figura 5.6 mostra els diferents paràmetres que tenen els motors dels que es disposa, així com també informació del reductor.



Figura 5.5. Motors Jive-M

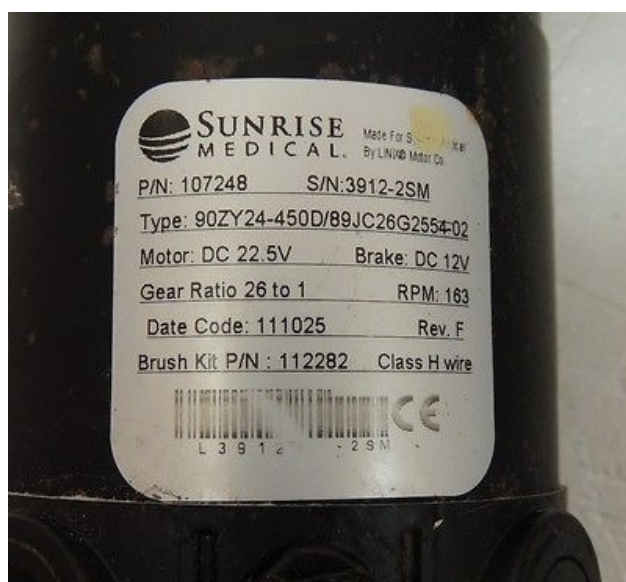


Figura 5.6. Etiqueta del motor



### 5.3.3. Model del motor

#### Part elèctrica

El motor es considera com una font de tensió ( $U_{motor}$ ) en sèrie amb una bobina (L) i una resistència (R), que equivalen a la impedància del motor.

La força electromotriu ( $E_{motor}$ ), és la diferència de potencial útil per a generar energia mecànica. Aquesta es relaciona amb la intensitat de la següent manera:

$$U_{motor} - E_{motor} = RI_{motor} + L \frac{dI_{motor}}{dt} \quad \text{Equació 5.3}$$

#### Conversió electromecànica

El parell del motor ( $T_{motor}$ ) es relaciona amb la intensitat ( $I_{motor}$ ) mitjançant la k que és la constant del motor i  $\phi$  que és el flux magnètic que travessa el motor; de la mateixa manera, la tensió  $E_{motor}$  i la velocitat angular ( $w_{motor}$ ) es relacionen mitjançant el mateix factor.

Les equacions de conversió són les següents:

$$I_{motor} * k * \phi = T_{motor} \quad \text{Equació 5.4}$$

$$E_{motor} = w_{motor} k \phi \quad \text{Equació 5.5}$$

D'aquesta forma, ja es té potència mecànica en forma de parell del motor ( $T_{motor}$ ) i velocitat angular ( $w_{motor}$ ). En la Figura 5.7 es pot observar la modelització del motor. Es considera la tensió d'entrada com una font de tensió de valor  $U_{motor}$  i pèrdues en el bobinat i en la resistència [32].

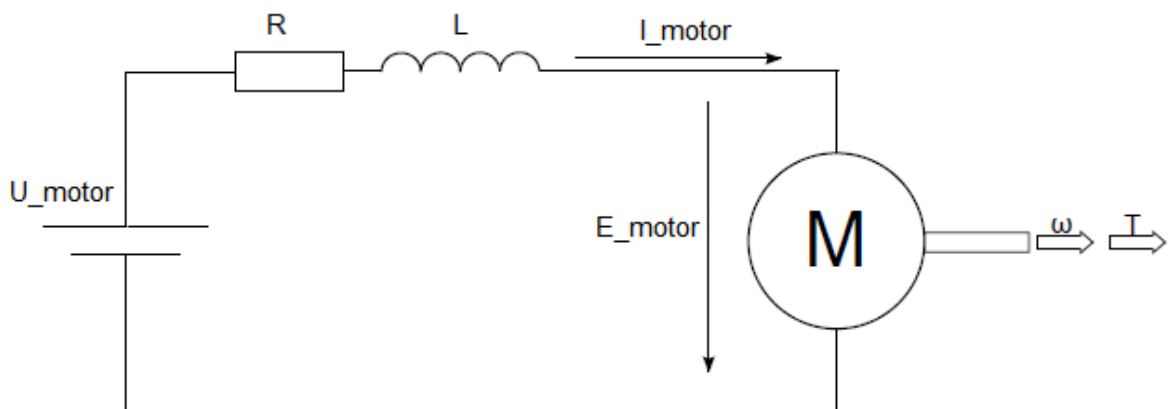


Figura 5.7. Esquema del motor elèctric

## 5.4. Transmissió i roda

El motor elèctric és una màquina rotativa, pel que proporciona un moviment angular. No obstant, per a poder moure la cadira, es necessita un moviment lineal, és a dir, s'ha de convertir el parell del motor ( $T_{\text{motor}}$ ) i la velocitat angular ( $w_{\text{motor}}$ ) en una força i una velocitat lineal respectivament.

Això es realitza primer en el sistema de transmissió, adequant els valor del  $T_{\text{motor}}$  i de la  $w_{\text{motor}}$  a uns valors assumibles per les rodes, i després en les pròpies rodes motrius [32].

La transmissió es simula de manera senzilla com un element guany, que multiplica el valor d'entrada per aquest guany. En aquest projecte el guany ve donat per la relació del reductor que mostra la Figura 5.6, la qual és de 26 a 1.

La transmissió tindrà com entrades el  $T_{\text{motor}}$ , provinent del model de la conversió electromecànica del motor, i la velocitat angular de la roda ( $w_{\text{roda}}$ ), calculada posteriorment en la roda, i en sortirà el parell de la roda ( $T_{\text{roda}}$ ) i la  $w_{\text{motor}}$ . Al model s'hi pot afegir el rendiment de la transmissió, en cas de considerar-lo.

Per tant les equacions de transmissió del reductor són les següents:

$$T_{\text{roda}} = K_{\text{reductor}} T_{\text{motor}} \quad \text{Equació 5.6}$$

$$w_{\text{motor}} = K_{\text{reductor}} w_{\text{roda}} \quad \text{Equació 5.7}$$

El contacte amb el terra es representa directament com la conversió a través del radi de la roda del parell ( $T_{\text{roda}}$ ) a força ( $F_{\text{cadira}}$ ) que desenvolupa el motor, així com la transformació de la velocitat lineal de la roda ( $v_{\text{cadira}}$ ) en la velocitat angular de la roda ( $w_{\text{roda}}$ ). Aquesta conversió també es realitza mitjançant un guany que equival, en aquest cas, a dividir entre el radi de la roda [25]. El radi de la roda de la Jive-M és de 17 cm.

Per tant, les equacions de transmissió a la roda són:

$$F_{\text{cadira}} = \frac{1}{\text{Radi}} T_{\text{roda}} \quad \text{Equació 5.8}$$

$$v_{\text{cadira}} = \frac{1}{\text{Radi}} w_{\text{roda}} \quad \text{Equació 5.9}$$

## 5.5. El Xassís

El comportament del moviment d'un vehicle qualsevol al llarg de la seva direcció de desplaçament ve determinat per totes les forces que actuen sobre ell. Per a que la cadira es mogui, s'ha d'aplicar una força de tracció ( $F_{\text{cadira}}$ ) en l'àrea de contacte entre els pneumàtics i la superfície del terra que sigui capaç de vèncer la força resistiva provocada per l'entorn [34].

La resistència que exerceix l'entorn es compon de la resistència al fregament, la resistència aerodinàmica i la resistència al pendent.

Així doncs, d'acord amb la segona llei de Newton, l'acceleració de la cadira es pot expressar de la següent forma:

$$\frac{dv_{\text{cadira}}}{dt} = \frac{\sum F_{\text{cadira}} - \sum F_{\text{resistència}}}{\text{massa}_{\text{cadira}}} \quad \text{Equació 5.10}$$

D'on  $v_{\text{cadira}}$  és la velocitat de la cadira,  $F_{\text{cadira}}$  és la força de tracció,  $F_{\text{resistència}}$  és la força de resistència del medi i  $\text{massa}_{\text{cadira}}$  és la meitat de la massa del conjunt cadira i usuari, ja que aquest model de cadira consta de dos motors i en aquest projecte s'ha estudiat el comportament d'un sol motor.

## 6. Representació energètica macroscòpica

Aquest capítol correspon a la part central del projecte i en ell s'introdueix la teoria bàsica i necessària per a poder realitzar i entendre qualsevol sistema representat amb la metodologia EMR i el seu sistema de control associat. A continuació, s'explica el modelat bloc a bloc començant per la font que representa les bateries fins a la font que figura l'entorn.

### 6.1. Introducció a la EMR

Amb el ràpid desenvolupament de la ciència i la tecnologia, l'aparició de nous sistemes complexos no ha parat mai. Com organitzar el modelatge i control d'aquests sistemes s'ha convertit en un desafiament. Especialment en el cas dels sistemes energètics.

Per això, des de 1950, el professor H. M. Paynter del MIT i el seu equip (Paynter, 1961) van crear l'eina gràfica *Bond Graph* [35].

Bond Graph ha contribuït significativament en la modelització de sistemes energètics, però no en el disseny de control directament. El 1996, es va desenvolupar el programa *Causal Ordering Graph* (COG) que descriu l'electrònica de potència i màquines elèctriques per al desenvolupament del seu control (Hautier, 2004). En l'any 2000, basat en COG, es va introduir la *Energetic Macroscopic Representation* (EMR) per descriure sistemes electromecànics complexos (Bouscaryol, 2000) [36].

EMR és una eina de representació dels sistemes energètics que permet visualitzar fàcilment la relació energètica entre cadascuna de les parts que formen el sistema complet.

Aquesta tècnica es basa en el principi d'acció-reacció d'organitzar la interconnexió dels blocs individuals que conformen el sistema d'acord amb la causalitat física. Aquests blocs s'utilitzen per a modelar el sistema representat en qualsevol programari de simulació.

En aquest treball, s'utilitza MATLAB / Simulink.

Però EMR no mostra la quantitat d'energia necessària per a què el sistema funcioni correctament. Aquesta quantitat d'energia és fixada per un sistema de control.

Amb EMR la tipologia de control es pot obtenir fàcilment utilitzant el "Control basat en la

inversió" (Inversion Based Control, IBC), és a dir, per inversió directa dels blocs de EMR i mitjançant l'ús de controladors en blocs causals, quan la seva inversió directa no sigui possible.

Al igual que *Bond Graph* i COG, EMR és una eina gràfica basada en l'energia, però té una visió energètica més global. A diferència de *Bond Graph*, EMR es centra en la funció del sistema, i no només en l'estructura del sistema. Per tant EMR dóna una visió de l'operació de l'energia real del sistema i permet una comprensió profunda de les seves potencialitats des d'un punt de vista dinàmic.

COG s'ha utilitzat en la docència des de 1996 en la Universitat de Lille i les escoles d'enginyeria de Lille ENSAM, Ecole Centrale i Polytech'Lille. La EMR es va introduir l'any 2002 en el Màster comú d'aquests establiments universitaris. Totes dues eines gràfiques s'utilitzen en algunes altres universitats franceses, i també a la Universitat del Quebec Trois Rivières (Canadà) des de 2004 i l'Escola Politècnica Federal de Lausana (Suïssa) des de 2005. De fet aquestes descripcions gràfiques permeten una forma unificada per a la descripció causal dels components de sistemes electromecànics [37].

## 6.2. Fonaments

Tal i com s'ha dit anteriorment, EMR es basa en el principi d'acció-reacció per organitzar la interconnexió de subsistemes d'acord amb la causalitat física (és a dir, la causalitat integral). Aquesta descripció destaca propietats energètiques del sistema (acumulació d'energia, conversió i distribució) [35].

### 6.2.1. Principi d'acció-reacció

Cada acció indueix una reacció. Aquest principi ha de ser respectat per tots els subsistemes de la representació.

La potència es transmet entre els elements connectats per la combinació de l'acció i la reacció [38].

Per exemple, una font de tensió està connectada a una bobina, l'acció de la font és la seva tensió i el corrent és la reacció de la bobina. La potència transmesa és el producte de l'acció i la reacció [39].

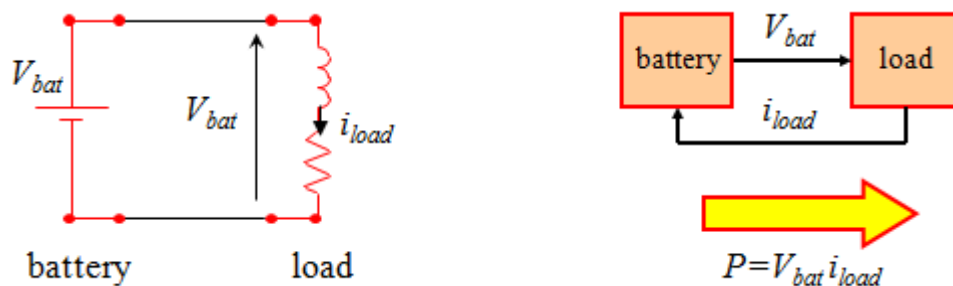


Figura 6.1 Exemple principi acció-reacció

### 6.2.2. Principi de causalitat

En un sistema en temps real, la integració significa el passat, en canvi la derivació significa la tendència del futur, la qual no pot ser determinada abans de que passi (Iwasaki, 1994).

D'aquesta manera, EMR considera la causalitat integral com l'única causalitat física permesa. La causalitat integral indica quines són les entrades del sistema de modelatge per una equació integral, integrant (causa) és l'entrada del sistema i la integració (efecte) és la sortida [35].

Per exemple, en l'equació d'un condensador, el corrent és la causa (entrada) i la tensió és l'efecte (sortida). I de forma contrària en el cas d'un inductor. Una resistència no té cap comportament dependent del temps, per tant, el voltatge o el corrent poden ser considerats com a entrada o sortida, depenen del sistema connectat a ell [38] [39].

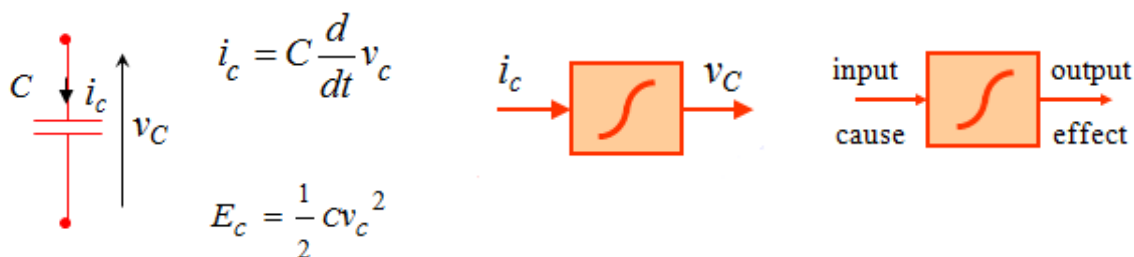


Figura 6.2 Exemple principi de causalitat

### 6.2.3. Elements

EMR té quatre tipus bàsics d'elements: les fonts, elements de conversió, elements d'acumulació i els elements d'acoblament [38] [40].

- **Fonts:** representades per ovals de color verd clar i la línia de color verd fosc, són elements terminals. Una font pot rebre o generar energia.

Una font produeix una sortida que no admet la discontinuïtat. Té una entrada (o vector d'entrada) i un sortida (o vector de sortida). Aquesta sortida pot ser interrompuda per l'entrada de la font.

Un exemple de font és una bateria.

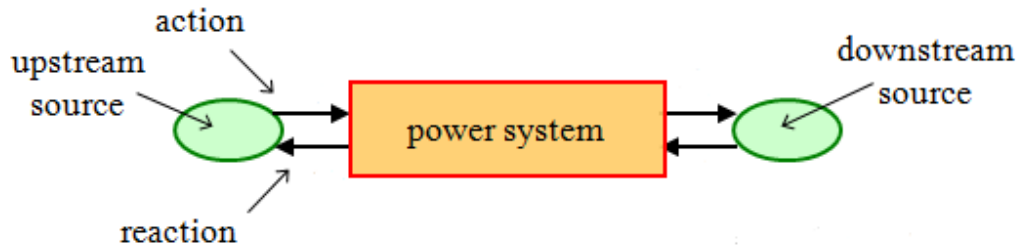


Figura 6.3 Esquema de les fonts



Figura 6.4. Exemples de fonts

- **Elements de conversió:** proporciona una conversió de l'energia. Aquesta conversió es duu a terme sense emmagatzematge d'energia.

Es descriuen per polígons de color taronja i línia vermella, s'utilitzen quadrats per a la conversió elèctrica, cercles per a la conversió electromecànica i triangles per a la conversió mecànica (per exemple, un transformador).

Un element de conversió té una entrada i una sortida aigües amunt, i una entrada i una sortida aigües avall. També poden posseir una entrada addicional d'ajust d'energia.

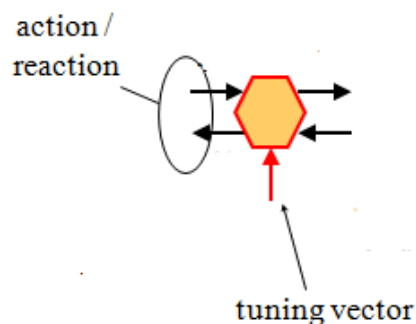


Figura 6.5. Estructura d'un element de conversió

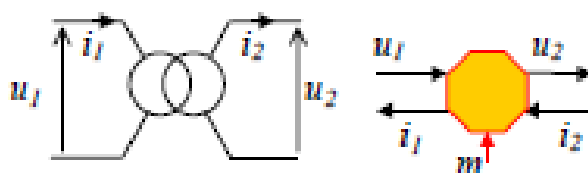


Figura 6.6. Exemple de conversió

- **Elements d'acumulació:** proporciona emmagatzematge d'energia entre dues fonts. Pot posseir pèrdues. Estan representats per rectangles taronja amb una barra i les línies vermelles.

Un element d'emmagatzematge té una entrada i una sortida aigües amunt, i una entrada i una sortida aigües avall. No té entrada de control addicional.

Un exemple d'element d'acumulació és un inductor, ja que l'integrand (causa) és la diferència dels dos voltatges d'entrada. I el corrent és l'efecte, i per tant la sortida.

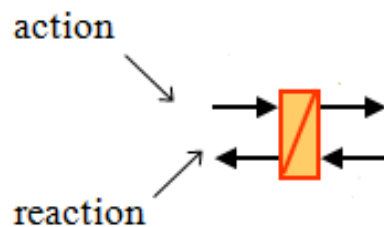


Figura 6.7. Esquema d'un element d'acumulació



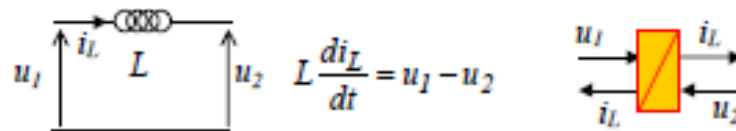


Figura 6.8. Exemple d'acumulació

- **Elements d'acoblament:** s'introdueixen per distribuir l'energia (per exemple, en una relació paral·lela dels circuits elèctrics).

Es representen per un solapament de polígons taronja amb les línies vermelles, s'utilitzen quadrats per un acoblament del mateix tipus d'energia i cercles en cas d'un acoblament de diferents tipus d'energia.

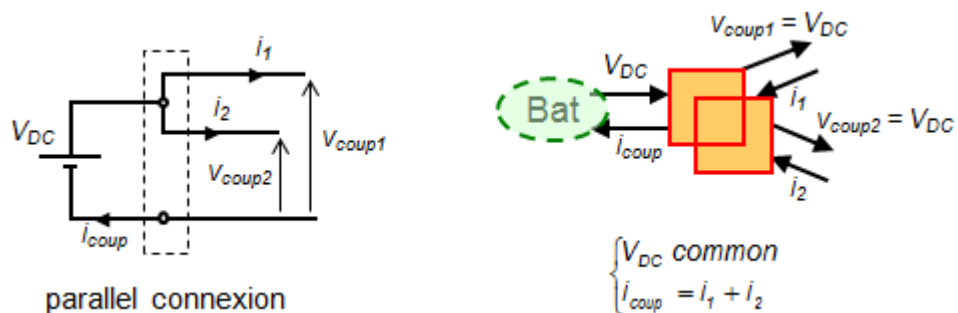


Figura 6.9. Exemple d'acoblament

#### 6.2.4. Control basat en inversió

La teoria del control basat en la inversió va ser iniciada pel sistema COG. L'estructura de control d'un sistema es considera com un model invertit del sistema perquè el control ha de definir les entrades apropiades a aplicar al sistema des de la sortida desitjada. En aquest mètode, les relacions sense dependència del temps s'inverteixen directament. A causa que el derivat de la causalitat està prohibit, una inversió directa de les relacions amb dependència temporal no és possible. En canvi, cal realitzar una inversió indirecta, es fa ús d'un controlador i mesuraments.

Aquestes regles d'inversió s'han ampliat a EMR, la EMR és invertida element per element. Els elements de conversió s'inverteixen directament i els elements d'acumulació s'inverteixen usant controlador. D'altra banda les inversions d'element d'acoblament

requereixen distribució o entrades ponderades. Aquestes entrades porten una organització de la distribució d'energia. Aquesta metodologia d'inversió és una altra manera de localitzar els controladors i mesuraments o estimacions [37].

Els blocs de control estaran representats per paral·lelograms blau clar amb els contorns blau fosc, i representen una manipulació de la informació. Les mesures seran representades per un petit oval en la variable a mesurar. Les variables intercanviades estaran representats per línies contínues (informació necessària) i per línies discontinües (informació opcional, que pot ser una simplificació).

Aquesta operació es pot simplificar en la segona etapa de l'aplicació de control. D'aquesta manera, l'Estructura de Control Màxim es pot obtenir en el cas que totes les variables siguin mesurables. I a partir d'aquesta estructura de control màxim, es poden realitzar algunes simplificacions i estimacions i es pot construir una estructura de control pràctica [38].

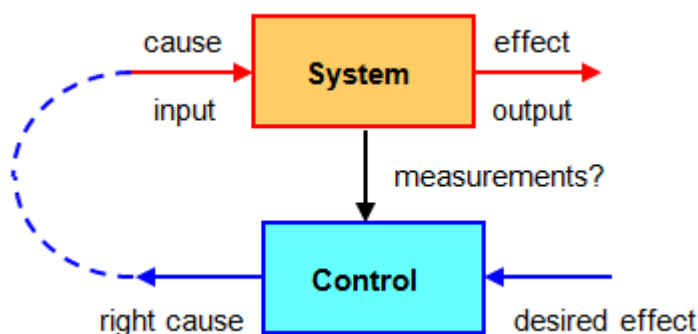


Figura 6.10. Esquema de control

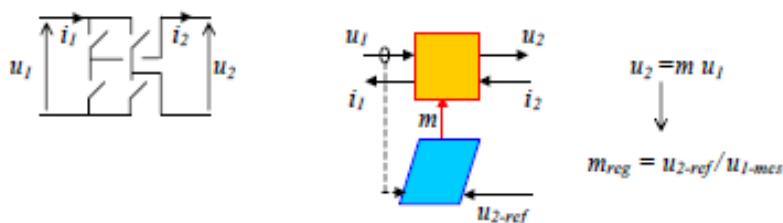


Figura 6.11. Exemple de control

### 6.3. Representació d'una cadira elèctrica

Un cop explicat com funciona l'eina EMR del programa Matlab/Simulink, es procedeix a explicar pas a pas la modelització realitzada. La Figura 6.12 mostra la meitat de l'esquema de la cadena energètica de la cadira de rodes amb el nom de tots els elements que hi participen, explicats en el capítol anterior, i que segueix l'esquemàtic de la Figura 5.1.

A continuació s'explica d'esquerre a dreta què representa cada bloc, el circuit que s'hi troba a l'interior i les respectives funcions que tenen en compte.

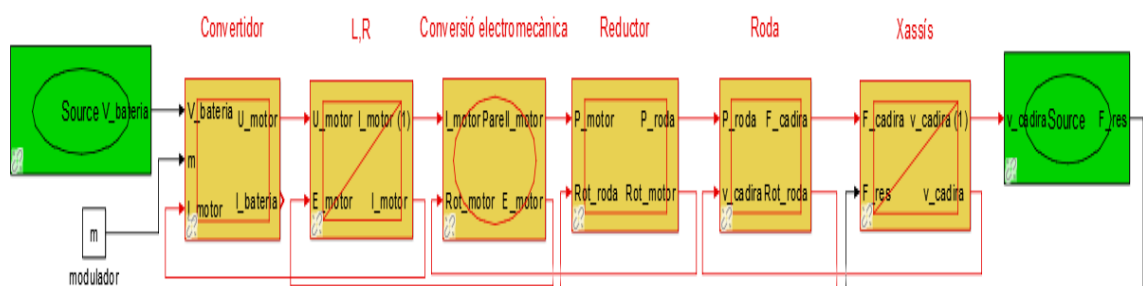


Figura 6.12. Cadena energètica

#### 6.3.1. Modelat

##### Bateries

En el capítol anterior s'han explicat amb deteniment les bateries del model de cadira estudiat, essent dues de Liti de 12 V.

Tot i així, s'ha optat per centrar la representació en la consigna velocitat prescindint del procés de descàrrega d'aquestes. És per això, que la font d'alimentació escollida és una font ideal de 24 V sense descàrrega.

En la següent figura és pot apreciar el modelat d'aquest font.



Figura 6.13. Bateria

## Convertidor

El bloc convertidor de la representació energètica segueix les equacions descrites en l'apartat 5.2, tal i com es pot observar en la Figura 6.14.

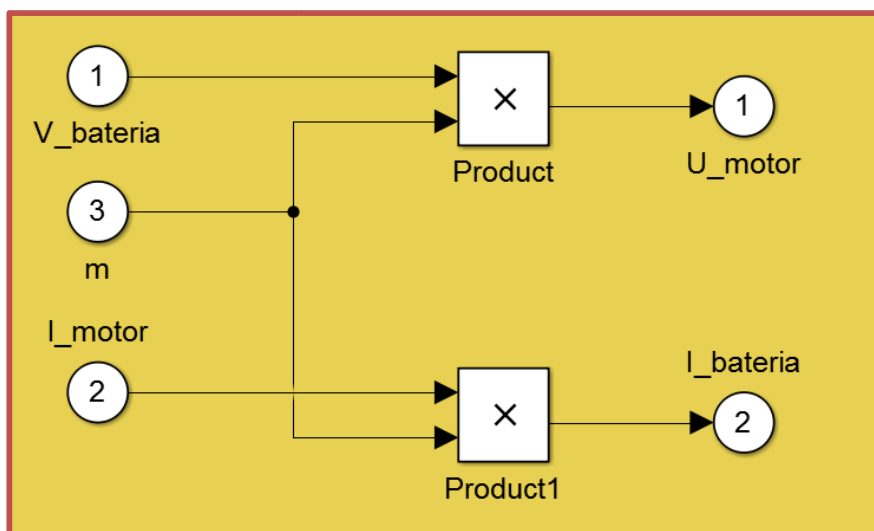


Figura 6.14. Modelat del convertidor

## Motor

El modelat del motor s'ha dissenyat en dos blocs. El primer correspon a la part elèctrica del motor, on es calcula la  $E_{\text{motor}}$ , amb l'Equació 5.3. El segon bloc es fa referència a la conversió electromecànica, Equació 5.4 i Equació 5.5.

Les dades del motor s'han extret del datasheet del motor, document que es trobar en els annexos d'aquest projecte.

S'han extret la tensió i el corrent del motor ( $U_{\text{motor}}$  i  $I_{\text{motor}}$ ), el parell del motor ( $T_{\text{motor}}$ ) i la velocitat de rotació ( $w_{\text{motor}}$ ).

Amb aquestes dades, i considerant una inductància de  $L=0.02$  mH, s'han pogut obtenir la  $R$  [ $\Omega$ ] del motor i el factor  $k\phi$  anomenat en aquest projecte  $K_{\text{motor}}$ .

El càlcul realitzat ha estat el següent:

$U_{motor}$ (V)	$I_{motor}$ (A)	$T_{motor}$ (Nm)	$w_{motor}$ (rad/s)
24,107	5,991	0,000	484,643
24,059	10,558	0,205	467,128
24,011	16,828	0,466	449,615
23,963	23,640	0,745	432,103
23,915	30,486	1,026	414,590
23,866	37,299	1,303	397,078
23,818	44,247	1,576	379,565
23,770	51,524	1,848	362,050
23,722	59,148	2,120	344,538
23,674	66,745	2,392	327,025
23,628	73,068	2,644	310,389

Taula 6.1. Dades del motor

$$E_{motor} = K_{motor} w_{motor}$$

Equació 6.1

Substituint a l'equació 5.3, sense comptar amb el bobinat s'obté:

$$U_{motor} - K_{motor} w_{motor} = R I_{motor} + \text{escombretes}$$

Equació 6.2

Arreglant l'equació 6.2 de la següent forma:

$$\frac{U_{motor} - \text{escombretes}}{I_{motor}} = K_{motor} \frac{w_{motor}}{I_{motor}} + R$$

Tot seguit s'ha realitzat un gràfic x-y, essent  $x = \frac{w_{motor}}{I_{motor}}$  i  $y = \frac{U_{motor} - \text{escombretes}}{I_{motor}}$ .

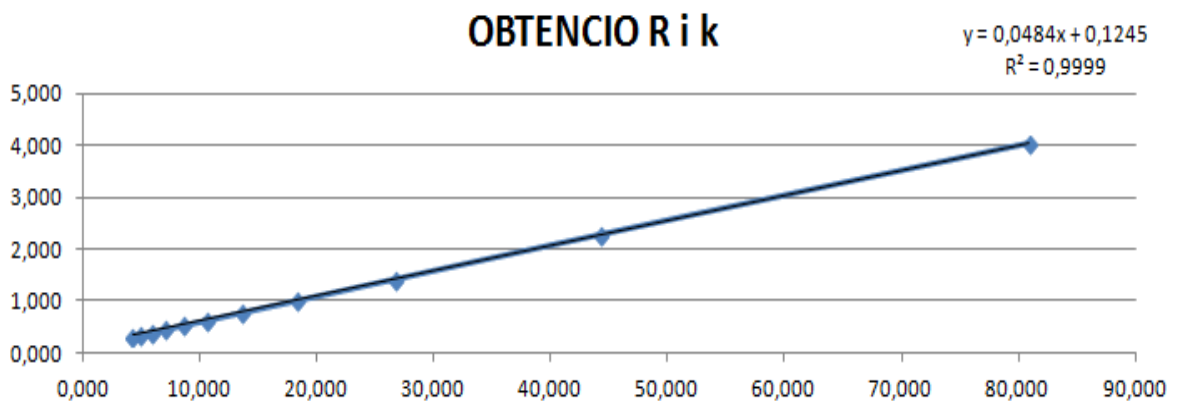


Figura 6.15. Obtenció R i K

Es pot observar que s'aconsegueix una recta on el pendent és la  $K_{motor}$  del motor i l'ordenada a l'origen la  $R$ . En aquest cas s'ha considerat nul·la la pèrdua en les escobretes. Per tant, tal i com es veu en la recta de regressió del gràfic,  $K_{motor}=0.0485$  i  $R=0.1245 \Omega$ .

Un cop obtingudes totes les dades del motor s'ha passat a fer el modelat amb Matlab.

El bloc de la part elèctrica és el que es mostra en la següent imatge, Figura 6.16. Com s'observa compleix el criteri de causalitat ja que s'ha canviat la derivada de l'equació 5.3 per un integrador.

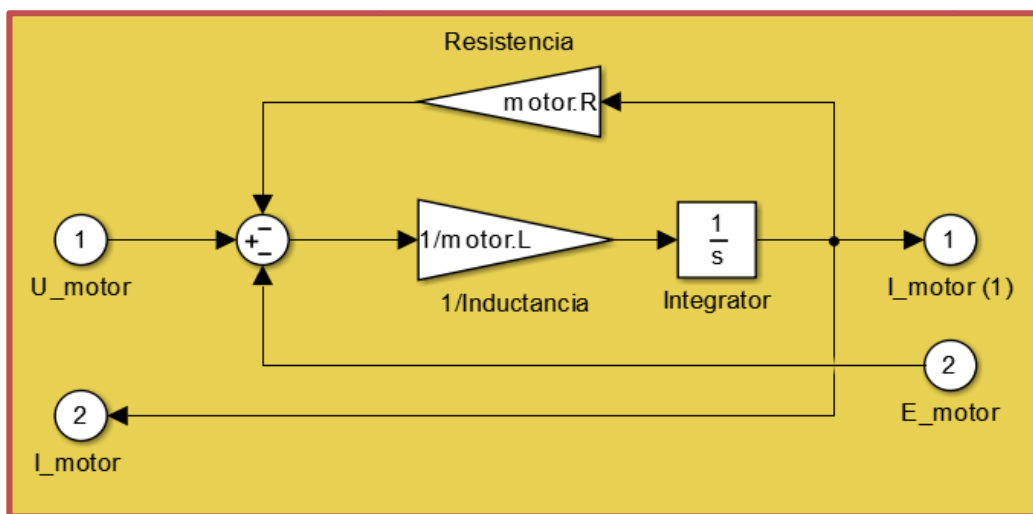


Figura 6.16 Part elèctrica del motor

La conversió electromecànica ha estat modelada tal i com es mostra en la Figura 6.17.

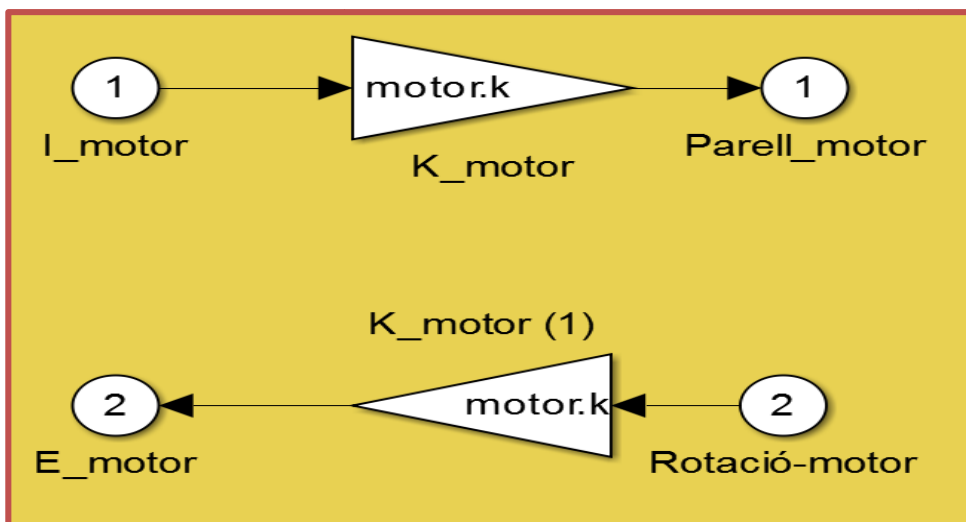


Figura 6.17. Conversió electromecànica

## Transmissió i rodes

Tal i com s'ha explicat en l'apartat 5.4 les transmissions es modelen amb una cadena directa d'un sol guany.

Es pot comprovar que el modelat de Matlab *Figura 6.18* i *Figura 6.19* segueixen les equacions definides, Equació 5.6 i Equació 5.7 per reductor de l'eix del motor a la roda, i l'Equació 5.8 i Equació 5.9 per la transmissió de la roda al terra.

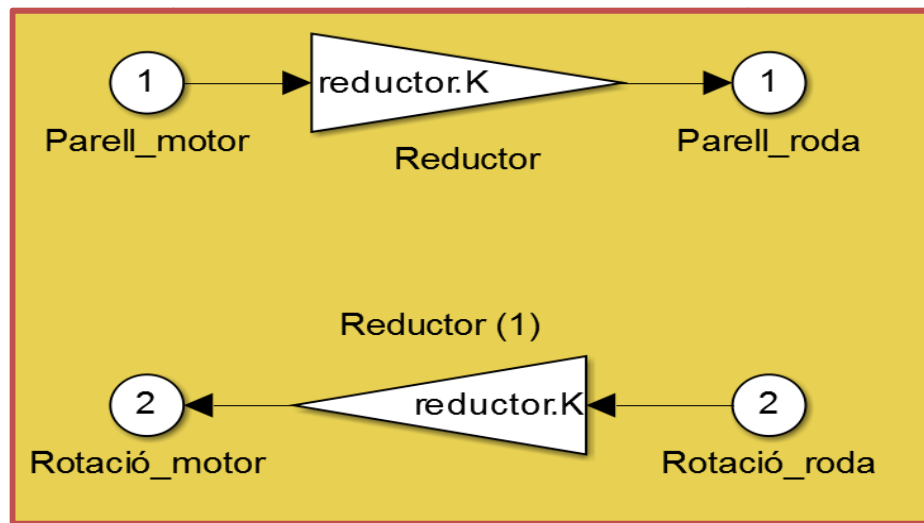


Figura 6.18. Transmissió del reductor

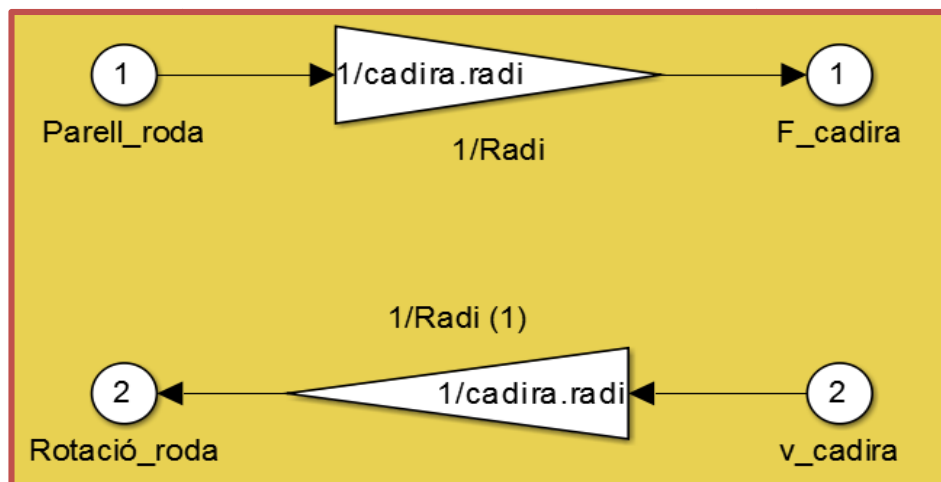


Figura 6.19. Roda

**Xassís**

El bloc del xassís com s’ha comentat té la finalitat de calcular la velocitat del vehicle i ho fa partint de la diferència de força de tracció i la força resistiva que s’oposa al moviment.

Aquest sumatori de forces, aplicant l'Equació 5.10 permet calcular la velocitat de la cadira.

Si s’aïlla la velocitat,

$$v_{cadira} = \int \frac{F_{cadira} - F_{resistència}}{massa_{cadira}}$$

Equació 6.3

On  $massa_{cadira}$  és la meitat de la massa de la cadira (160 kg) [41] més la massa de l'usuari que s'ha considerat de 70kg, per tant  $massa_{cadira} = 230/2 = 115$  Kg.

Per poder avaluar les prestacions de la cadira, és important realitzar un estudi de les forces paral·leles a la direcció de la cadira. Ja que és en aquesta direcció en la que actua la força realitzada per el motor per aconseguir que la cadira es mogui.

El model en Matlab del xassís es pot observar en la següent figura.

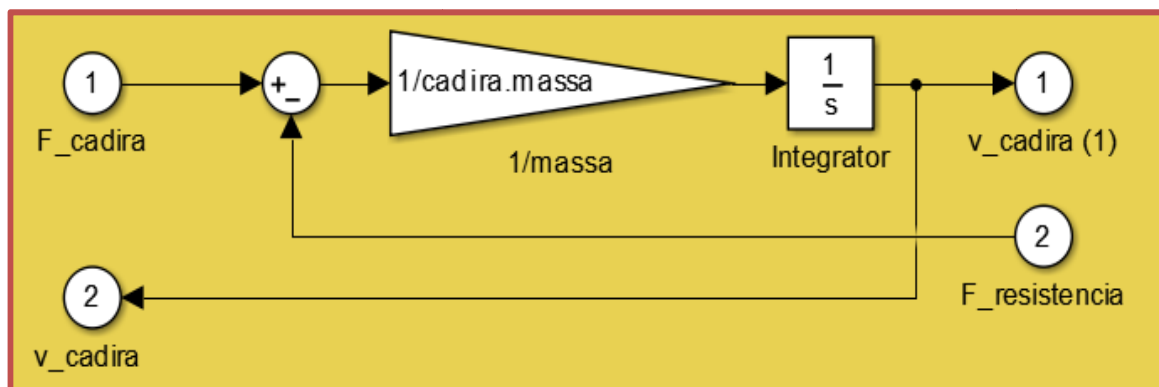


Figura 6.20. Xassís

**Condicions de l'entorn**

Un cop ja es té el sistema modelat encara hi ha factors a tenir en compte a l'hora de poder simular el comportament dinàmic de la cadira.

En el modelat de l'entorn amb el qual interacciona la cadira s'han tingut en compte aquests factors, els quals són totes aquelles forces que entren en joc quan la cadira es mou i que van en contra del moviment ( $F_{resistència}$ ).



En aquest projecte s'han tingut en compte les següents forces [25]:

- **Força aerodinàmica:** La resistència aerodinàmica és la oposició que realitza l'aire al moviment de la cadira. Aquesta força s'expressa amb la següent equació,

$$F_{aire} = \frac{1}{2} \rho_{aire} C_A S (v_{cadi\grave{r}a} - v_{aire})^2 \quad \text{Equació 6.4}$$

On la  $\rho_{aire}$  és la densitat de l'aire,  $C_A$  és el coeficient aerodinàmic,  $S$  és el àrea frontal de la cadira,  $v_{cadi\grave{r}a}$  és la velocitat de la cadira, i  $v_{aire}$  és la velocitat de l'aire.

- **Força del pes en una pendent:** La resistència al pendent és la força que ha de vèncer la cadira per a poder superar una pendent determinada. Aquesta força depèn del pes de la cadira i de l'angle que és forma entre la via per la qual es circula i la horitzontal. L'equació que controla aquesta força és la següent:

$$F_{pes} = massa_{cadi\grave{r}a} g \sin(\alpha) \quad \text{Equació 6.5}$$

On  $massa_{cadi\grave{r}a}$  és la meitat de la massa de la cadira i l'usuari,  $g$  és la gravetat i  $\alpha$  és l'angle del pendent.

S'ha de tenir en compte que quan la cadira circula per una baixada, aquesta resistència es converteix en una ajuda, és a dir, ajuda a la força del motor a vèncer a les altres resistències en lloc de ser un impediment.

- **Força de fregament:** La resistència a la rodadura ve determinada per el fregament de les rodes de la cadira amb el terra. Aquest fregament s'expressa segons la fórmula següent,

$$F_{fregament} = massa_{cadi\grave{r}a} g \cos(\alpha) \mu \quad \text{Equació 6.6}$$

On  $\alpha$  és l'angle del pendent i  $\mu$  és un coeficient adimensional anomenat coeficient de la resistència de fregament, que depèn bàsicament de 4 factors, l'amplada dels pneumàtics, la pressió de l'inflat, el material del pneumàtic i el tipus de paviment.

Finalment el modelat de les forces de resistència és mostra en la següent figura (Figura 6.21):

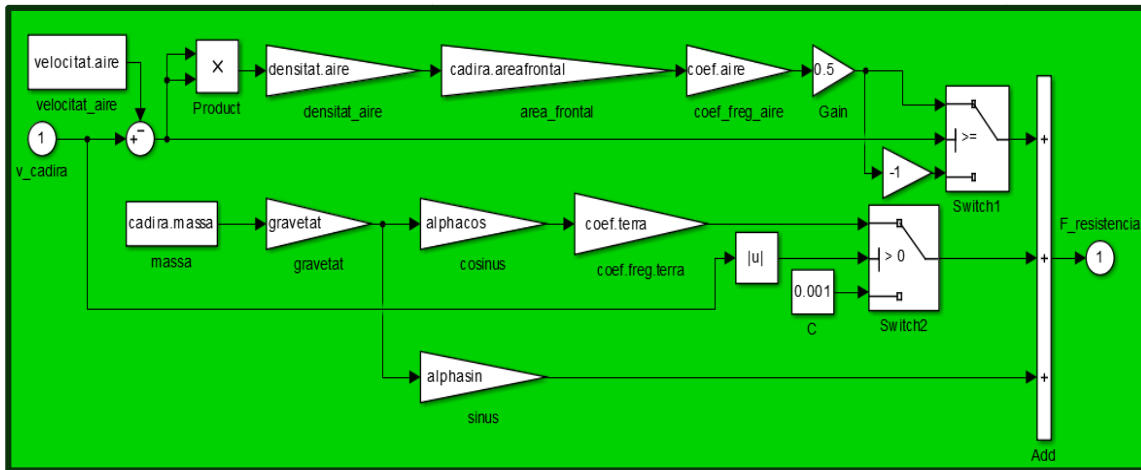


Figura 6.21. Forces de resistència

### 6.3.2. Estructura màxima de control

Tal i com s'ha vist, la EMR és una representació energètica del sistema que permet visualitzar fàcilment la relació energètica entre cada un dels blocs. Però no informa de la quantitat d'energia necessària per a que el sistema funcioni correctament. Per això, la EMR es complementa amb la Estructura Màxima de Control (EMC) [34].

La EMC es fonamenta en deduir, a partir de la EMR, l'estructura de control necessària per a controlar les variables energètiques. Per a dur a terme el model de control s'ha de definir, en primer lloc, la variable a controlar i s'haurà d'identificar el convertidor sobre el que s'actuarà per adequar la seva resposta a les necessitats de la variable controlada. Un cop es coneix la variable controlada i el convertidor sobre el que actuarà, el model de control serà, la inversa de la EMR, tal i com s'ha explicat en l'apartat 6.2.4.

En aquest projecte la variable a controlar és la velocitat de la cadira. Per tant, per a controlar-la, es necessitarà un controlador de velocitat que tindrà com a sortida una força de referència. Aquesta força es convertirà en un parell a les rodes que serà transformat posteriorment en parell al motor. Després es realitzarà el control de la corrent que tindrà com a sortida la tensió que s'haurà d'aplicar al motor per a que circuli la corrent necessària per a que el motor proporcioni el parell desitjat.

El modelat de la EMR amb el llaç de control es pot observar en la següent figura:

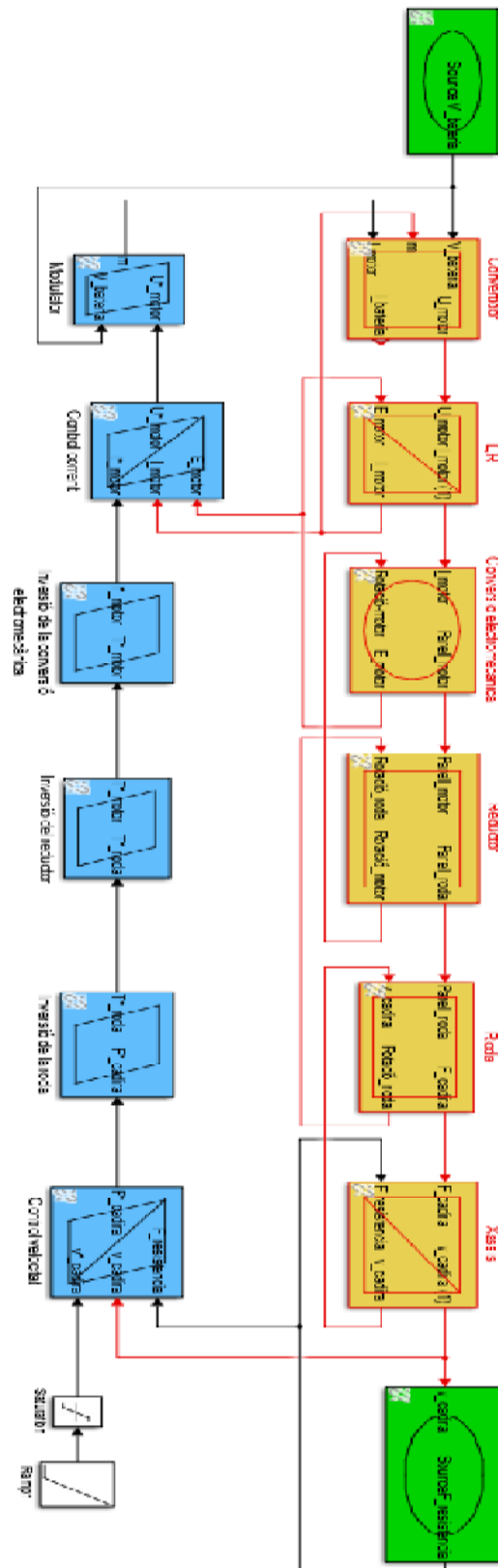


Figura 6.22. Model de la EMR amb EMC

### Controlador de velocitat

El primer bloc de la EMC compara la velocitat de referència amb la velocitat real de la cadira.

S'utilitza com a senyals d'entrada la velocitat de referència (desitjada) de la cadira, la velocitat real d'aquesta i la força resistent. No obstant, al voler invertir l'Equació 5.10 sorgeix un problema, ja que té un component derivatiu. Per tant, és necessari utilitzar un controlador. Com l'equació és de primer ordre i per assegurar l'estabilitat del sistema, és necessari introduir un controlador proporcional,  $k_{p_v}$ . Del controlador s'obté una força que, sumada a la força produïda per el medi ( $F_{resistència}$ ), dóna com a resposta la força de referència.

Per realitzar el càlcul de la constant  $k_{p_v}$  s'ha utilitzat:

$$K_{p_v} = \alpha_v \cdot massa\_cadira \qquad \text{Equació 6.7}$$

On  $\alpha_v$  depèn del paràmetre  $t_{r_v}$  que és el temps de resposta corresponent al temps que tarda el sistema a arribar al 90% del valor de la consigna.

$$\alpha_v = \frac{\log(9)}{t_{r_v}} \qquad \text{Equació 6.8}$$

Finalment, el modelat del control de la velocitat es pot observar en la Figura 6.23.

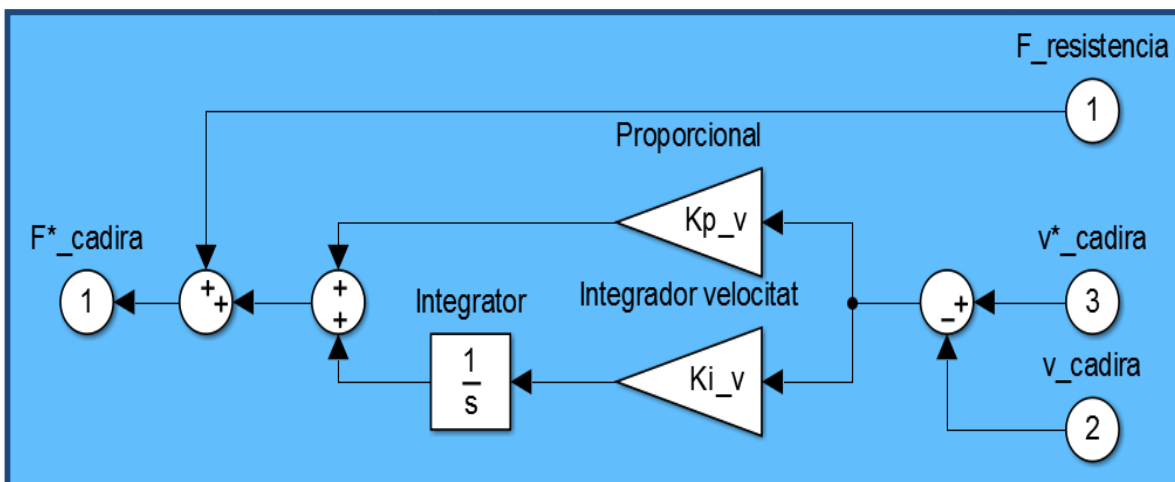


Figura 6.23. Modelat del control de la velocitat

### De força de referència a parell de referència

Aquest pas no presenta tantes complicacions com l'anterior. Correspon a la inversió directa de la EMR.

En les següents figures es pot observar com es realitza aquesta inversió.

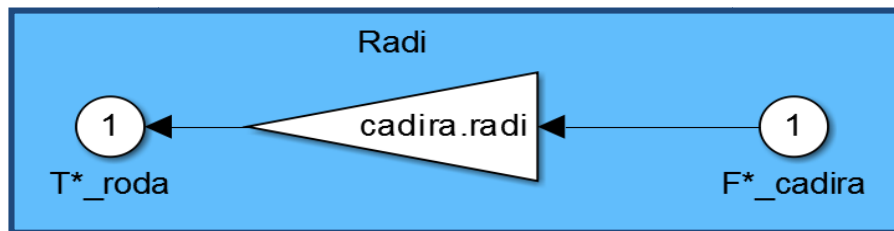


Figura 6.24. Pas de força a parell de la roda

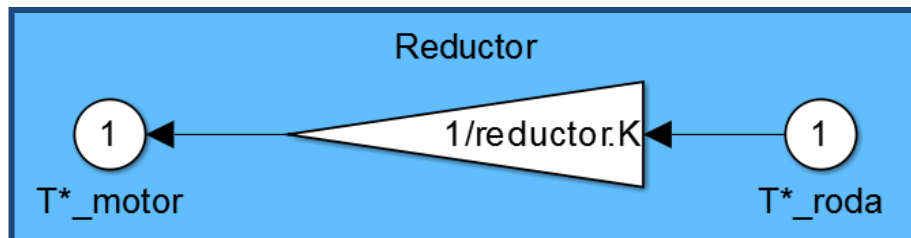


Figura 6.25. Conversió de parell de la roda a parell del motor

### De parell de referència a intensitat

Per dur a terme aquesta inversió s'ha utilitzat l'Equació 5.4, la qual s'ha invertit per tal de calcular la intensitat necessària, un cop trobat el parell que es desitja que realitzi el motor.

En la següent figura es pot veure com s'ha realitzat el modelat d'aquest control.

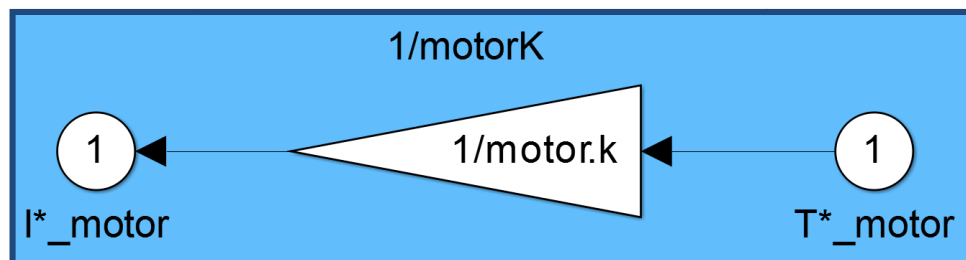


Figura 6.26. Conversió de parell del motor a intensitat

### Controlador de les intensitats

Aquest bloc de la EMC compara la intensitat desitjada amb la intensitat que circula realment pel motor.

S'utilitzen com a senyals d'entrada la intensitat necessària (desitjada) del motor, la intensitat real d'aquest i la força electromotriu del motor ( $E_{motor}$ ). Tal i com ha passat amb la velocitat, al voler invertir l'Equació 5.3 es troba un component derivatiu. Per tant, és necessari utilitzar un controlador. En aquest cas per poder assegurar l'estabilitat del sistema és necessari introduir un controlador compost per un component proporcional,  $k_{p_i}$  i un integrador  $k_{i_i}$  (controlador PI). Del controlador s'obté un voltatge que, sumat a  $E_{motor}$ , dóna com a resposta el voltatge de referència en el motor.

Per realitzar el càlcul de les constants del controlador s'ha utilitzat:

$$K_{p_i} = \alpha_i \cdot L \quad \text{Equació 6.9}$$

$$K_{i_i} = \alpha_i \cdot R \quad \text{Equació 6.10}$$

On  $\alpha_i$  depèn del paràmetre  $t_{r_i}$  que és el temps de resposta corresponent al temps que tarda el sistema a arribar al 90% del valor de la consigna.

$$\alpha_v = \frac{\log(9)}{t_{r_i}} \quad \text{Equació 6.11}$$

Finalment, el modelat del control de la intensitat es pot observar en la Figura 6.27

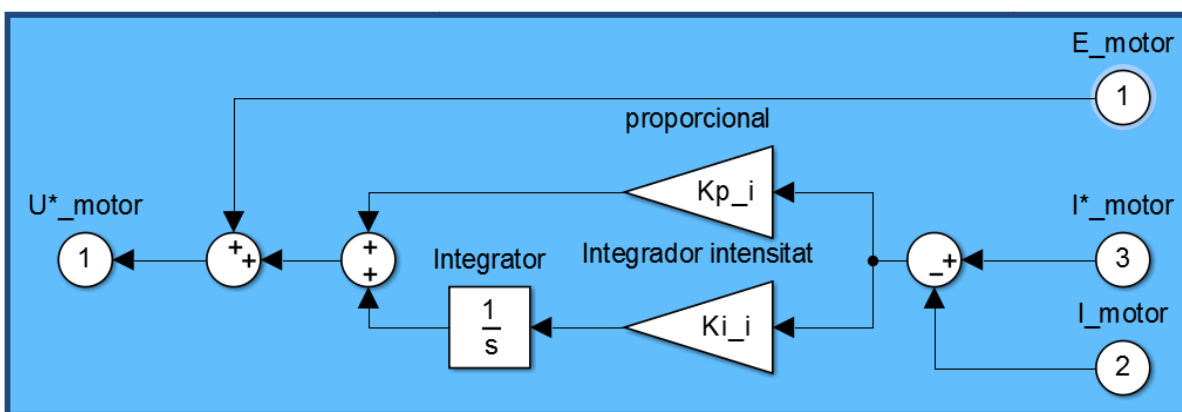


Figura 6.27. Modelat del control de la intensitat

### El modulador

El sistema de control del motor actua sobre el seu convertidor d'entrada, l'objectiu d'aquest modulador és generar el senyal que habilitarà el sistema per tal de proporcionar la tensió desitjada.

En aquest cas el modulador és un factor en tant per u, que multiplicarà el senyal provinent de les bateries permetent calcular els valors necessaris.

Per evitar possibles errors, en la simulació s'ha saturat els possibles valors de m. Per tant, aquesta variable únicament pot prendre valors des de -1 fins a 1.

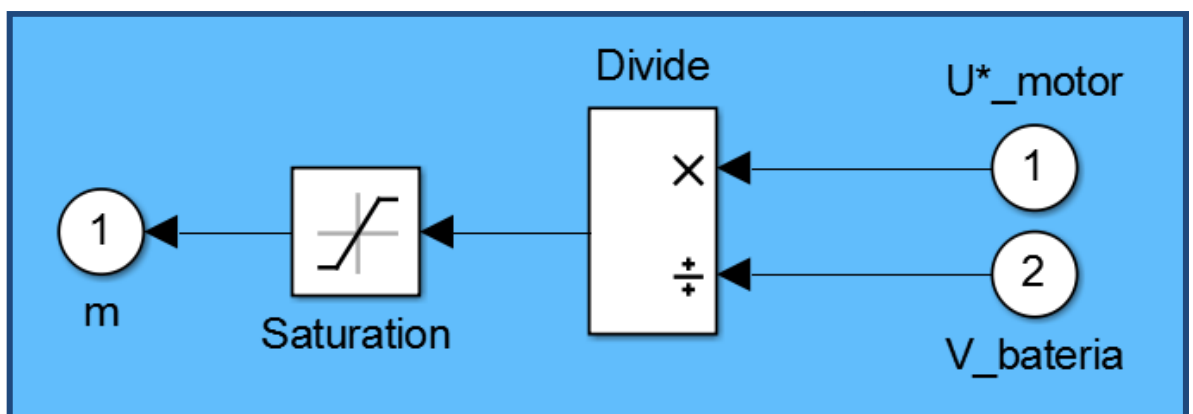


Figura 6.28. Control del modulador

Aquest senyal m tanca el llaç de control.

## 7. Simulació

Per tal de comprovar que el model dissenyat funciona correctament i el sistema respon de forma real i coherent, s'ha realitzat la següent simulació.

En aquesta simulació s'ha introduït al sistema una velocitat de referència en forma de rampa fins a arribar a un valor constant. Per fer-ho real s'ha decidit simular l'arrencada, des d'estar parada fins a assolir la velocitat màxima que pot assolir la cadira. Aquesta velocitat és de 10 km/h i el temps que tarda en arribar-hi és de 2,5s.

Per poder donar aquestes instruccions s'han realitzat els següents càlculs:

$$10 \frac{Km}{h} \cdot \frac{1000m}{1Km} \cdot \frac{1h}{3600s} = 2,78 \text{ m/s} \quad \text{Equació 7.1}$$

$$\frac{2,78 \text{ m/s}}{2,5s} = 1,11 \text{ m/s}^2 \quad \text{Equació 7.2}$$

De la primera equació s'obté el valor de la velocitat desitjada en metres per segon, i del segon càlcul s'obté el valor de l'acceleració, que equival al pendent de la rampa.

La consigna d'aquesta velocitat es pot observar en la següent figura:

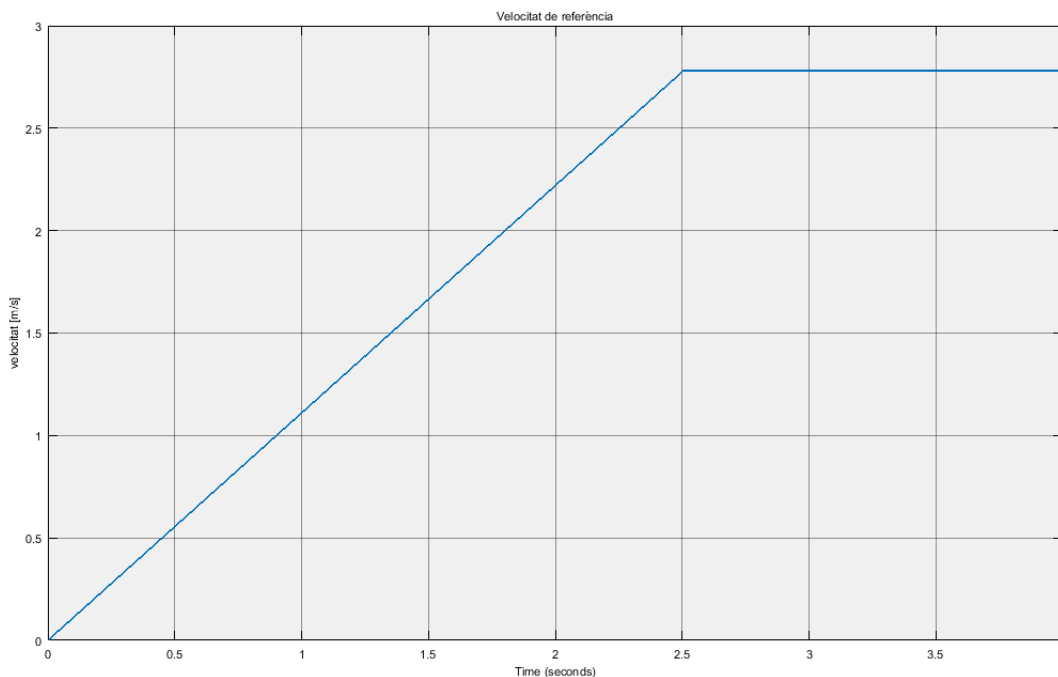


Figura 7.1. Velocitat de referència



Pel que fa als altres paràmetres de la simulació s'ha considerat que la cadira estava en un terreny pla i sense vent, pel que únicament es té en compte la força deguda al fregament entre les rodes i el terra.

Tampoc s'han considerat pèrdues en les escobretes del motor.

Un cop realitzada la simulació amb la consigna de velocitat anterior i les característiques comentades es començarà a fer l'anàlisi dels resultats.

En primer lloc s'observarà el resultat de la velocitat, ja que és la variable que s'està intentant controlar.

Tal i com es pot observar a la Figura 7.2, on la línia blava és la consigna de velocitat donada i la línia rosa és la velocitat real de la cadira, les velocitats segueixen aproximadament la mateixa trajectòria.

Es pot apreciar que la velocitat real tarda una mica més de 2,5s a assolir l'estat estacionari. Això és degut a que la cadira ha de superar una força de fricció més gran en l'arrencada que quan ja està en funcionament, fet que provoca que comenci a accelerar unes mil·lèsimes de segon més tard.

Tot i així, es pot considerar que el model és prou vàlid, i que representa els valors reals de la cadira.

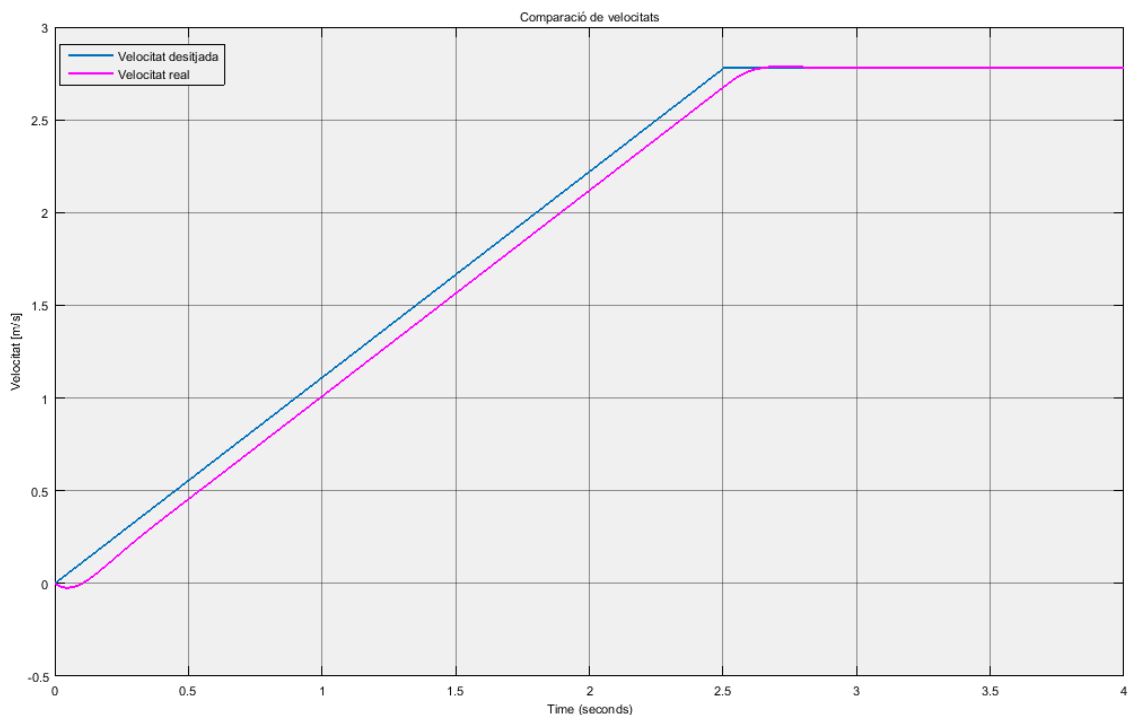


Figura 7.2. Comparació de velocitats

Un cop analitzada la velocitat, s'ha passat a comprovar les forces que entren en joc.

En la Figura 7.3 es pot percebre la comparativa entre la força que ha de realitzar la cadira (línia blava) i la força real que realitza (línia rosa).

Tal i com es veu en la imatge les dues consignes segueixen el mateix patró, amb unes mil·lèsimes de segon de retard la línia real, a causa del mateix efecte explicat anteriorment en la velocitat.

En aquesta figura també s'aprecien els valors d'aquesta força, els quals són més elevats al principi, ja que el sistema s'està accelerant i un cop arriba a l'estacionari aquest valor es redueix.

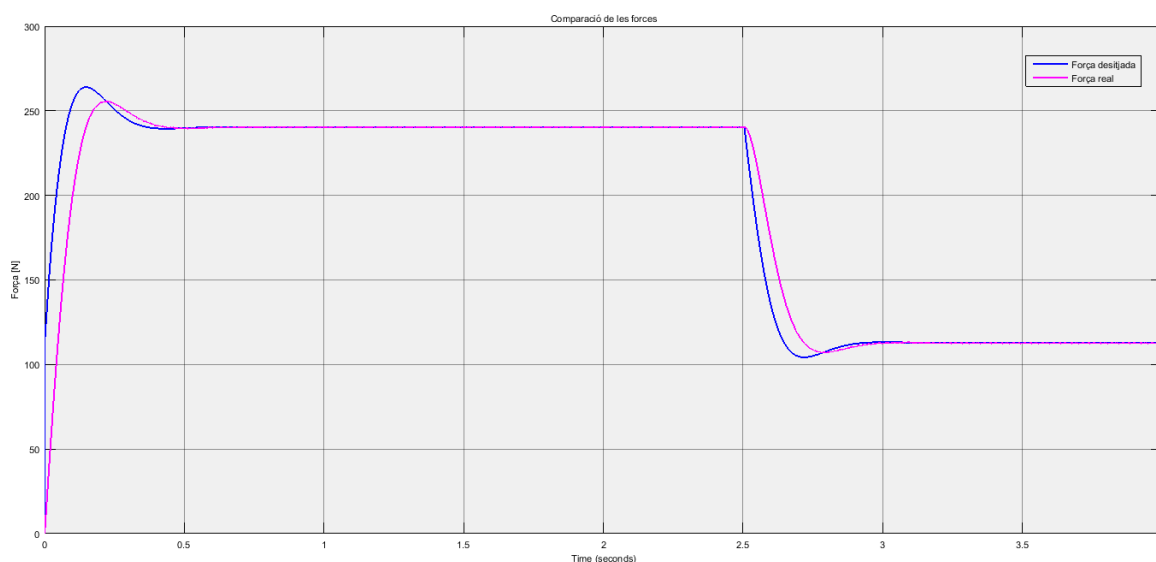


Figura 7.3. Comparació de la força de la cadira

En la següent imatge, Figura 7.4, es pot estudiar la comparativa entre la força que realitza la cadira (gràfic 1) i la força de resistència (gràfic 2). Com també es pot apreciar la força resultant (la resta de les dues forces anteriors, gràfic 3).

És interessant comentar que la força resistent és una força constant ja que, com s'ha explicat anteriorment, únicament s'ha considerat la força de fregament. També cal destacar com en el tercer gràfic es veu que la força resultant és positiva durant el període d'acceleració, per tant la cadira ha de realitzar una força major a la resistent, i un cop s'arriba a l'estat estacionari aquestes forces s'igualen, i per tant la força resultant és nul·la.

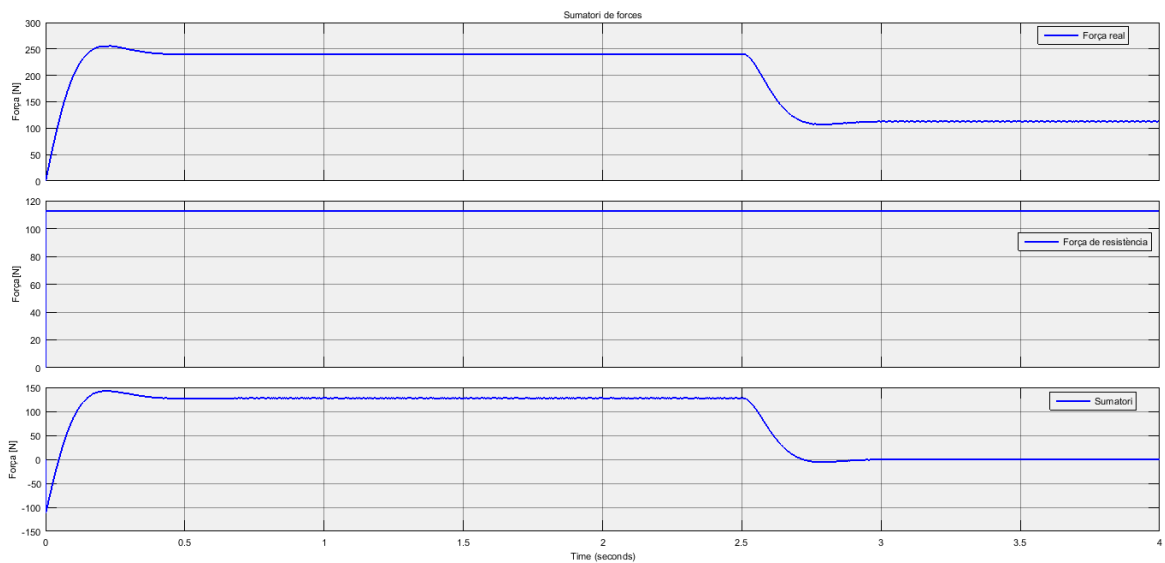


Figura 7.4 Sumatori de forces

Seguint amb l'anàlisi de resultats, ara és el torn de les velocitats angulars, aquestes es poden apreciar en la Figura 7.5.

Si s'observen els gràfics, es pot apreciar com les velocitats angulars de la roda (gràfic1) i del motor (gràfic 2) són proporcionals, amb un factor igual al reductor. Es veu com aquestes van augmentant progressivament durant l'acceleració fins a arribar a un valor constant quan s'arriba a la velocitat desitjada. També s'observa com les dues velocitats de rotació són proporcionals a la velocitat de la cadira.

Per saber si el model és correcte s'han realitzat els càlculs dels valors que haurien de tenir aquestes velocitats:

$$w_{roda} = \frac{Velocitat}{Radi} = \frac{2,78 \text{ m/s}}{0,17\text{m}} = 16,35 \text{ rad/s} \quad \text{Equació 7.3}$$

$$w_{motor} = W_{roda} \cdot 26 = 16,35 \cdot 26 = 425,18 \text{ rad/s} \quad \text{Equació 7.4}$$

Comparant aquests valors amb els resultats de l'estacionari del gràfic es comprova que el model funciona correctament, i que els resultats obtinguts fins al moment són coherents amb la realitat.

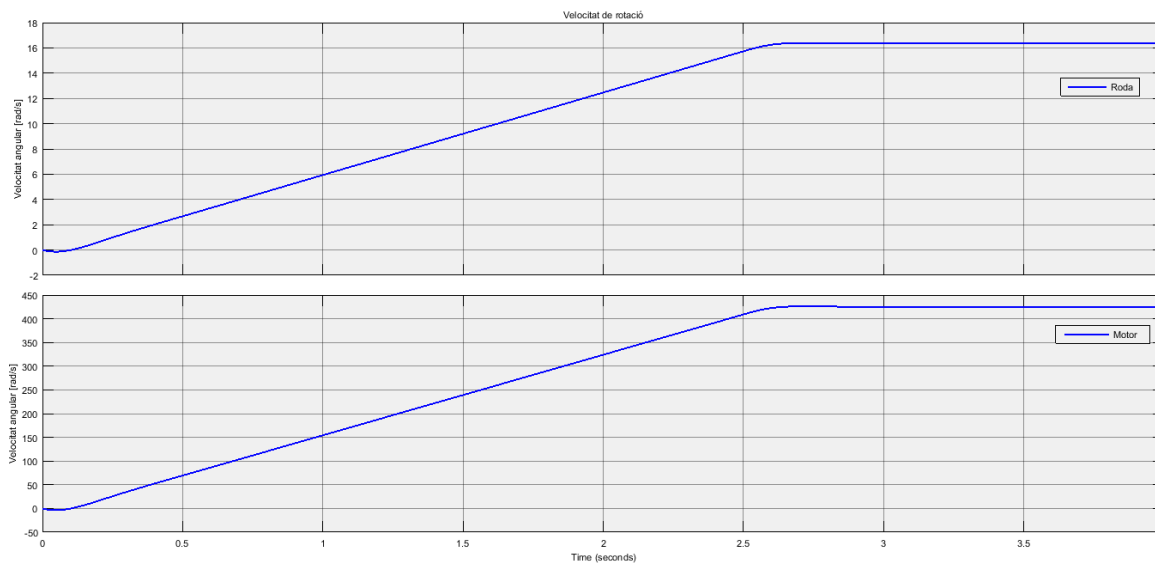


Figura 7.5. Velocitats de rotació

Tot seguit, s'analitzen els valors obtinguts dels parells.

En la Figura 7.6 es poden observar la comparació entre la consigna desitjada (línia blava) i la consigna real (línia rosa) del parell de la roda (gràfic 1) i del parell del motor (gràfic 2).

Es pot veure, que les dues consignes reals segueixen bé la consigna desitjada, tenint en compte el petit retard ja comentat anteriorment.

Un tema interessant a comentar és que, tal i com s'aprecia, els valors dels parells són proporcionals entre ells amb un factor igual al reductor, i a la vegada ho són amb la força realitzada per la cadira amb un factor igual al radi de les rodes d'aquesta. Que es compleixi aquest fet valida el model.

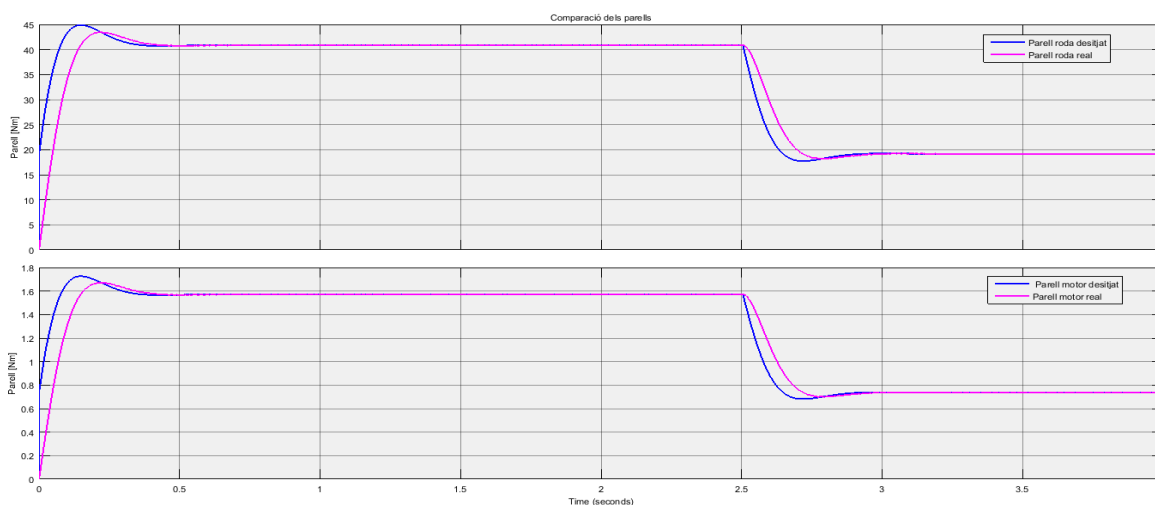


Figura 7.6. Comparació dels parells

Fins aquest punt de l'anàlisi de la simulació s'han estudiat els resultats de les variables físiques i mecàniques, és a dir, des de la velocitat de la cadira fins a la sortida del motor

Per tant, a continuació s'analitzen els resultats elèctrics d'aquesta simulació. Aquests paràmetres són els corresponents al motor i convertidor, ja que com ja s'ha comentat, no s'ha realitzat cap estudi sobre la bateria, considerant-la, per tant, una font de tensió ideal.

El primer paràmetre elèctric a estudiar és la intensitat del motor.

En la Figura 7.7 s'observa la comparació entre la intensitat desitjada (línia blava) i la intensitat real (línia rosa).

Tal i com s'esperava la intensitat és proporcional al parell del motor, amb un factor igual a la constant del motor. En aquest cas també es pot apreciar el retard en la consigna real i els dos valors constants, el primer durant el període d'acceleració, més elevat i el segon quan el sistema ja ha arribat a la velocitat esperada, més baix.

El valor de pic es troba a 34,5 A, el qual és un valor acceptable per al motor utilitzat. I finalment, el valor en estat estacionari a velocitat constant es troba a 15,2 A, moment en que s'igualen la consigna real a la desitjada. El sistema és estable, per tant es pot validar el controlador dissenyat per al corrent.

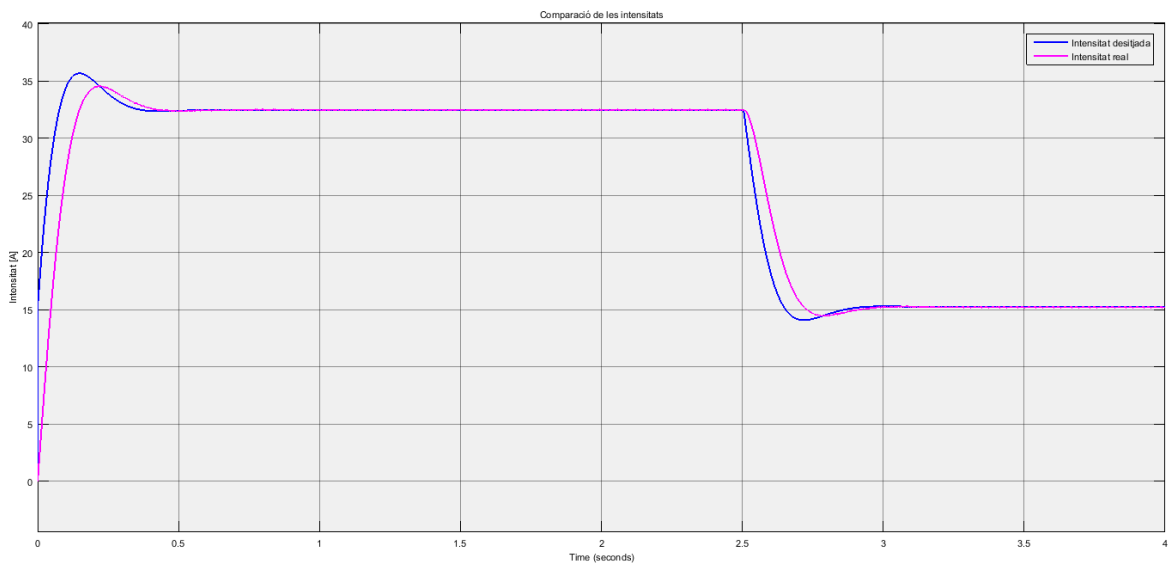


Figura 7.7. Comparació d'intensitats

Un cop analitzada la intensitat del motor, les úniques variables que queden per comentar són els voltatges i el modulador.

Aquestes es poden veure en la Figura 7.8.

En el primer gràfic estan representades les consignes de voltatge desitjat d'entrada al motor (línia blava) i el voltatge real que es proporciona (línia rosa), tal i com es veu les dues línies

estan una sobre l'altra, pel que no es produeix cap mena de retard ni error en aquesta consigna. Un fet important a tenir en compte és que en cap moment aquestes consignes superen els 24V, valor màxim que pot oferir la bateria, tot i que en el pic sí que s'arriba a aquesta quantitat. Aquest fet no és un problema ja que s'està estudiant la màxima velocitat, i per tant la que necessita més voltatge.

El segon gràfic és la comparativa entre la tensió d'entrada al motor i la força electromotriu que s'hi produeix. S'aprecia com la  $E_{\text{motor}}$  sempre és inferior a la  $U_{\text{motor}}$ , pel que la suma surt positiva i el sistema funciona sense cap problema.

Per últim, en el tercer gràfic es veu la consigna del modulador, com es pot comprovar sempre és positiva ja que s'està simulant una arrancada, i per tant una acceleració positiva, i el valor d'aquesta consigna no supera en cap instant el valor  $u$ , màxim valor que pot assolir.

També es pot observar com les consignes de voltatge són proporcionals a la velocitat de la cadira, ja que van augmentant gradualment durant la rampa d'acceleració i després arriben a l'estat estacionari quan s'ha arribat a la velocitat desitjada.

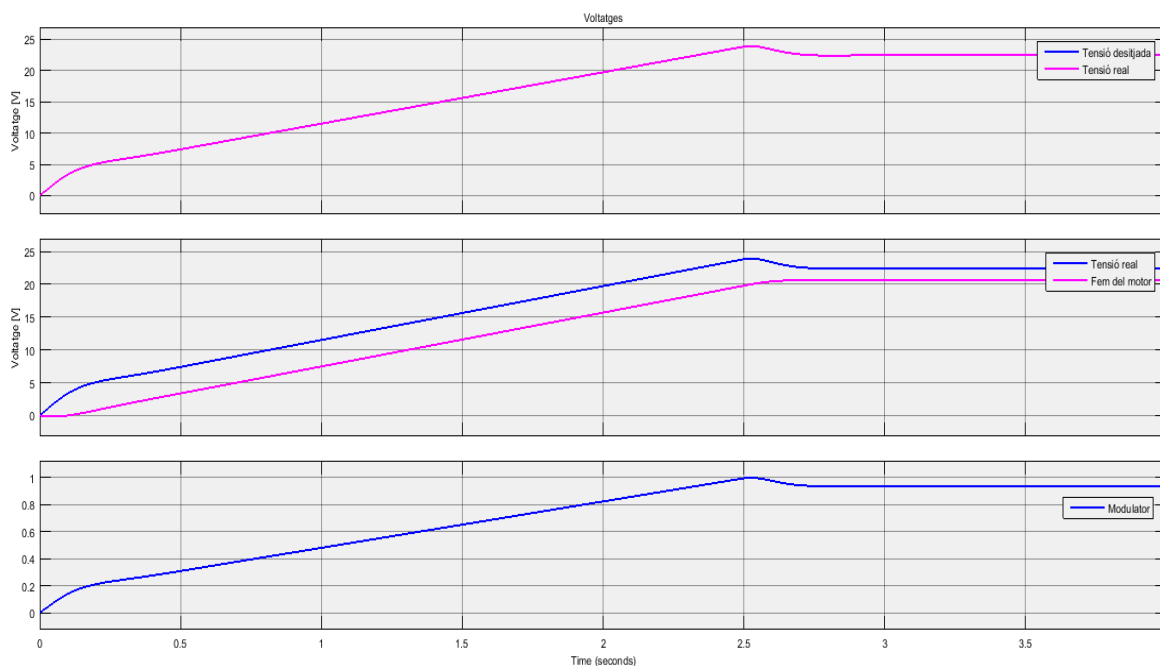


Figura 7.8. Voltatges

Per finalitzar l'estudi de la simulació en la Figura 7.9 es poden observar totes les variables estudiades per poder apreciar el seu comportament simultani. S'ha afegit el modulador en les dues comparatives per poder apreciar com s'aconsegueix el control a través d'aquest.

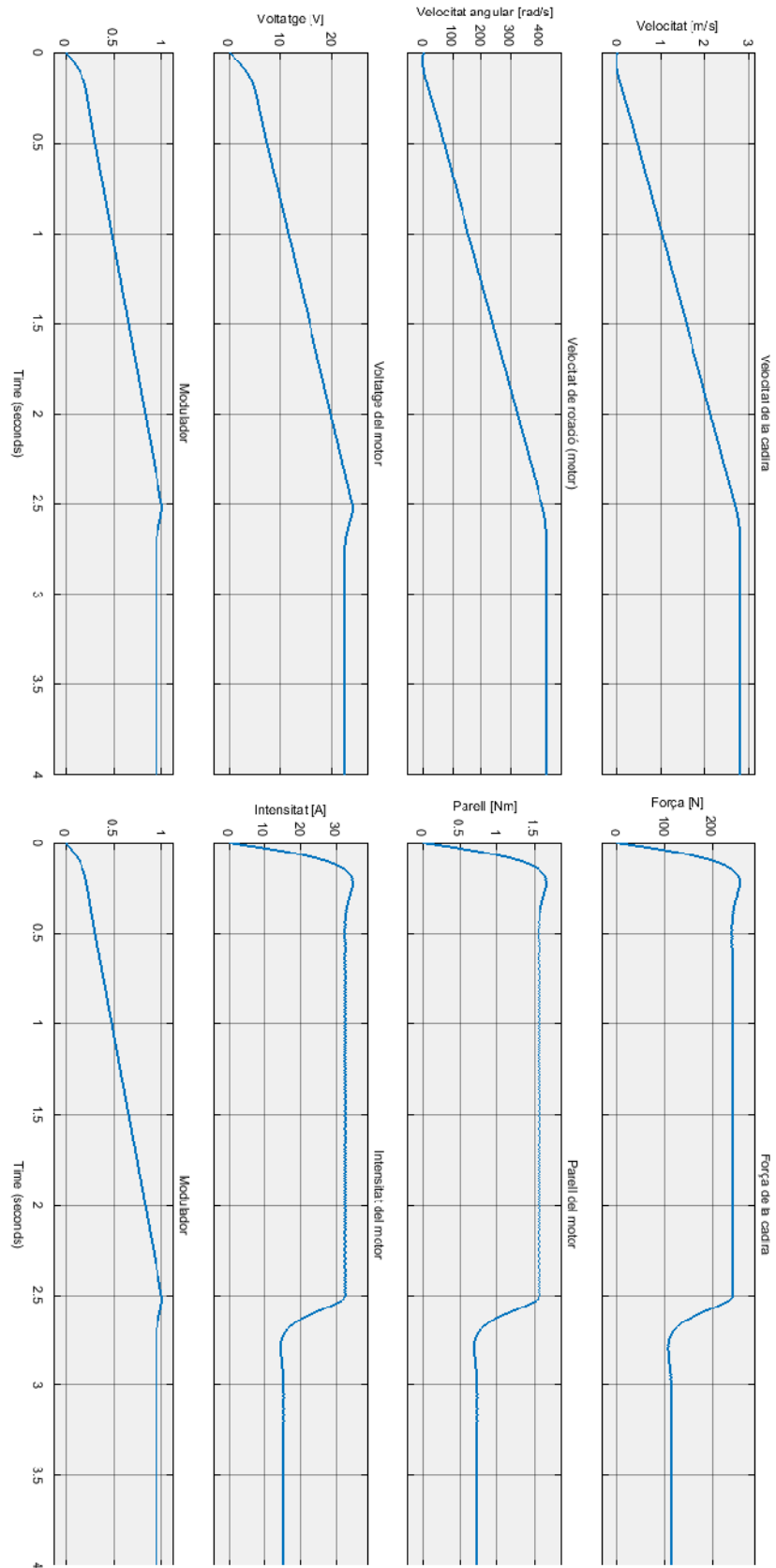


Figura 7.9. Resum de les variables

## 8. Impacte ambiental i social

Com s'ha pogut llegir, aquest projecte es basa en l'estudi teòric i la corresponent simulació del model d'una cadira de rodes elèctrica. Així doncs, al no realitzar cap tipus d'experiment físic ni fabricació no es produeix cap impacte ambiental susceptible d'analitzar a través d'algun estudi concret.

Si es mira el impacte social i ambiental de la cadira de rodes estudiada hi ha varis aspectes a comentar.

Des del punt de vista social, l'efecte és positiu ja que proporciona un benestar a un col·lectiu poc valorat de la societat. La invenció de les cadires de rodes els ha proporcionat una autonomia i llibertat de moviment elevades. Així doncs, investigant en la tecnologia d'aquestes, fent que es puguin adaptar a les necessitats i complexió del pacient i conscienciant a la resta de la societat que siguin més respectuosos, s'aconseguirà que el seu dia a dia sigui cada vegada més similar al de la resta.

A més, pel que fa a les cadires elèctriques estudiades en aquest projecte, fan que un nombre major de persones discapacitades puguin fer-la servir, ja que requereixen d'un mínim esforç físic per a utilitzar-les i no els hi faci falta una tercera persona per a desplaçar-se.

Des del punt de vista ambiental cal tenir en compte el que cal fer durant el cicle de vida del producte per a perjudicar el mínim possible al medi ambient.

Els fabricants s'encarreguen que durant el procés de producció es compleixin els límits i normatives establertes.

Durant el seu ús, la cadira no produeix emissions perjudicials al medi ambient, l'únic que li transmet és energia calorífica que genera la bateria en escalfar-se a causa del seu funcionament. En cas de produir-se la ruptura d'algun dels elements i substituir-la caldrà portar l'element al lloc pertinent per a què pugui ser reciclat o reutilitzat.

Cal remarcar que les bateries acostumen a ser els components que perjudiquen més. Depenent del tipus que siguin, en cas de bolcada poden tenir conseqüències importants. En aquest cas, com la cadira té integrades dues bateries de liti en estat gelatinós aquest problema no es té.



El mateix passarà quan arribi la fi del seu cicle de vida. S'haurà de dur a un lloc segur per a què procedeixin a la separació dels diferents components per a poder fer el posterior reciclatge de cadascun d'ells.

- En el cas de bateries, motors i actuadors que la componen, components més costosos que la resta, s'haurà de comprovar el seu funcionament. Si encara poden ser útils es poden implantar en altres dispositius i amortitzar-ne el preu o, en cas contrari, reciclar-los.
- Els materials que componen l'estructura de la cadira són principalment alumini i plàstic, materials fàcilment reciclables.
- Tots el que forma el sistema elèctric, cables, placa i comandament de control podran ser reutilitzats sense cap problema si estan en bon estat.

Així doncs, es creu que les cadires de rodes elèctriques són una bona invenció per a la vida de les persones i respectuoses amb el medi ambient.



## Conclusions

En aquest projecte s'ha desenvolupat un model que permet estudiar la reacció de les respostes elèctriques i mecàniques dels motors que provoquen el moviment a les rodes motrius d'una cadira de rodes elèctrica. Per a poder-ho dur a terme, s'han augmentat els coneixements assolits durant la carrera sobre el programa MATLAB Simulink, i així poder-ho representar amb EMR.

És important destacar els coneixements adquirits sobre la representació energètica macroscòpica, ja que aquest concepte era completament nou i s'ha après a realitzar-la durant el transcurs d'aquest treball.

A més, s'han estudiat els diferents elements dels que consta la cadira i se n'han calculat certs paràmetres necessaris, a partir de conceptes de les assignatures de Màquines Elèctriques, Electrotècnia i Control Automàtic, entre d'altres.

Els resultats obtinguts demostren que la representació aconseguida s'aproxima a la realitat i s'obtenen valors coherents amb els càlculs fets analíticament.

Com s'ha dissenyat l'estructura de màxim control, s'han pogut comparar tots els paràmetres reals amb els desitjats per tal d'aconseguir la consigna velocitat definida. Comparant un a un, s'ha pogut detectar que tots eren fidels al que s'esperava però amb un petit retard que, com s'ha explicat, és degut a la força de fricció estàtica. A més, també s'ha comprovat que els pics de valors màxims que s'obtenien no superaven els màxims que poden assolir els components del sistema.

Per tant, es creu que s'han complert els objectius plantejats al inici d'aquest projecte, ja que s'ha dissenyat amb èxit el modelat i el control de la cadira de rodes estudiada, i els resultats obtinguts són coherents a la realitat. I s'han adquirit bons coneixements sobre les eines empleades.

Com a futures línies de treball, es podria ampliar la representació afegint l'altre motor en paral·lel i considerant com a font d'alimentació el conjunt de bateries real. D'aquesta manera es podria analitzar el desgast de la bateria enfront a diverses situacions i seria molt més representatiu de la realitat.



## Agraïments

En primer lloc, agrair al tutor del projecte, Antoni Sudrià, per l'ajuda i interès proporcionats durant aquests mesos i els coneixements aportats per a poder solucionar els dubtes teòrics que ens hem anat trobant.

Agrair també al professor Daniel Montesinos per la implicació i disponibilitat a l'hora de solucionar els problemes sobre Simulink que se'ns anaven plantejant al llarg del disseny.

També voldríem agrair als nostres companys i amics pels ànims i suport aportats, com també moltes idees i solucions als problemes que han anat sorgint.

I per últim, agrair a les nostres famílies el suport que ens han donat quan veien que les coses no ens sortien com volíem i necessitàvem una ajuda per a continuar endavant.



## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] GENERALITAT DE CATALUNYA. DEPARTAMENT DE BENESTAR SOCIAL I FAMÍLIA. *Estadístiques de Persones amb discapacitat*. Barcelona, Servei d'estadística de la Generalitat de Catalunya, 2014. [[http://benestar.gencat.cat/ca/ambits\\_tematicos/serveis\\_socials/estadistiques/estadistiques\\_persones\\_discapacitat](http://benestar.gencat.cat/ca/ambits_tematicos/serveis_socials/estadistiques/estadistiques_persones_discapacitat), 15 de desembre de 2015].
- [2] INSTITUT GUTTMAN. *Hospital de Neurorehabilitació*. Barcelona. [<http://www.guttmann.com/>, 15 de desembre de 2015].
- [3] CLÍNICA SAN VICENTE. Madrid: 2014. [<http://www.clinicasanvicente.es/>, 15 de desembre de 2015].
- [4] ASOCIACIONES ESPAÑOLAS. *Discapacidad física*. [<http://campus.usal.es/~inico/texto/enlaces/asociaciones/espanolas.htm#fisica>, 15 de desembre de 2015].
- [5] CONFEDERACIÓN ESPAÑOLA DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA Y ORGÁNICA (COCEMFE).Madrid. [<http://www.cocemfe.es/portal/>, 15 de desembre de 2015].
- [6] PLATAFORMA REPRESENTATIVA ESTATAL DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD FÍSICA (PREDIF). España. [<http://www.predif.org/>, 15 de desembre de 2015].
- [7] ADAPT. FREE OUR PEOPLE. [<http://www.adapt.org/>, 15 de desembre de 2015].
- [8] DISABLED PEOPLES' INTERNATIONAL. 2015. [<http://www.dpi.org/>, 15 de desembre de 2015].
- [9] BAEZ, J. *Breve historia de la silla de ruedas*. *Revista Discover*. 2013. [<http://revistadiscover.com/profiles/blogs/historia-de-las-sillas-de-ruedas>, 15 de desembre de 2015].
- [10] PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CARI. PROYECTO ANDAR, INCLUSIÓN SOCIAL. *Evolución de la silla de ruedas*. Bogotá: 2008.
- [11] MARTÍNEZ, S. *Silla de ruedas*. *Monografías*. 2012. [<http://www.monografias.com/trabajos94/silla-ruedas/silla-ruedas.shtml>, 15 de desembre de 2015].

- [12] HUMERTO, L. *Proyecto de investigacion de una silla de reudas*. 2012. [<http://www.monografias.com/trabajos94/proyecto-silla-ruedas/proyecto-silla-ruedas.shtml>, 15 de desembre de 2015].
- [13] DISCAPACITATS FÍSQUES: MINUSVALIDESA. *Tipus de cadira manual*. <https://sites.google.com/site/discapacidadesfisicas/sillas-de-ruedas/tipos-de-silla-manual>, 15 de desembre de 2015].
- [14] DISCAPACITATS FÍSQUES: MINUSVALIDESA. *Tipus de cadira de rodes elèctrica*. <https://sites.google.com/site/discapacidadesfisicas/sillas-de-ruedas/tipos-de-silla-de-ruedas-electricas>, 15 de desembre de 2015].
- [15] INTEL. *IoT Innovation: Connected Wheelchair*. [Vídeo] [<http://www.intel.com/content/www/us/en/internet-of-things/videos/iot-wheelchair-safety-accessibility-video.html>, 21 de desembre de 2015].
- [16] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA TV. *Telemonitoritzar persones amb discapacitat: sensors biomèdics*. Universitat Politècnica de Catalunya, Servei de Comunicació i promoció. Barcelona: 2012. [Vídeo]. [<https://tv.upc.edu/continguts/telemonitoritzar-persones-amb-discapacitat-sensors-biomedics>, 21 de desembre de 2015].
- [17] PRIGG, M. *The tiny chip that can track its location WITHOUTS satellites*. Mail Online. 2013. [<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2308196/The-tiny-chip-replace-GPS-satellites.html>, 21 de desembre de 2015].
- [18] INTEL IOT GROUP. *Intel Galileo Smart Wheelchair Project – IDF14*. Intel IoT Group, Wheelchair Project. 2014. [Vídeo]. [<https://www.youtube.com/watch?v=ggx7C6IB8QE>].
- [19] COCEMFE CASTILLA Y LLEÓN. *La elección de la silla de ruedas*. COCEMFE, Servicio de personas con Discapacidad Física y Orgánica de Castilla y León. [<http://www.cocemfecyl.es/index.php/discapacidad-y-tu/65-las-sillas-de-ruedas>, 22 de desembre de 2015].
- [20] SCIGERIATRIA. *¿Cómo elegir una silla de ruedas?*. Sci-Geriatria, patologías, tratamientos y ayudas técnicas. Junio del 2015. [<http://www.sci-geriatria.com/como-elegir-una-silla-de-ruedas>, 22 de desembre de 2015].
- [21] ESTRUCPLAN ON LINE. *La importancia de la elección de la silla – 3ª Parte El Asiento*. Ergonomía, 2002. [<http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=81>, 22 de desembre de 2015].



- [22] SALAR, L. *La correcta elección de una silla de ruedas*. Ortopedia Plus. [http://www.ortopediaplus.com/blog/la-correcta-eleccion-de-una-silla-de-ruedas.html, 22 de diciembre de 2015].
- [23] ZEPEDA, B., NÚÑEZ, E.A., RAYMUNDO, J. *Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelía Congénita*. México, D.F.: Tesis de la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2013. [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5015/Tesis.pdf?sequence=1, 22 de diciembre de 2015].
- [24] CEAPAT, MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO. *Cómo elegir tu silla de ruedas manual. Guía Fácil*. Madrid, Instituto De Salud Carlos III, 2002. [http://www.ceapat.es/InterPresent1/groups/imsero/documents/binario/cmoelegirtusil laderuedasmanual.pdf, 22 de diciembre de 2015]-
- [25] VIDAL, H. *Estudi i simulació del comportament energètic del vehicle elèctric*. Trabajo de final de grado presentado en la Universitat Politècnica de Catalunya, ETSEIB, 2014. [http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/24956, 02 de gener de 2016].
- [26] RENOBAT. *Principales tipos de baterías en el mercado*. España: 2014. [http://www.renobat.eu/es/comunicacion/articulos/130-principales-tipos-de-baterias-en-el-mercado, 22 de diciembre de 2015].
- [27] TIPOSDE.ORG. *Tipos de baterías*. Subcategoría cotidianos del portal educativo tiposde.org. [http://www.tiposde.org/cotidianos/420-tipos-de-baterias/, 22 de diciembre de 2015].]
- [28] QUICKIE. JIVE. *Manual de instrucciones JIVE M*. Sunrise Medical, Servicio de electrónica, 2012.
- [29] BATTCOMANY. *Diferencias entre baterías AGM y GEL*. Blog de BattComany. [http://www.battcompany.com/blog/sobre-baterias/58-diferencias-entre-baterias-agm-y-gel.html, 22 de diciembre de 2015].
- [30] KANOBI, B. *¿Qué son las baterías de gel?*. eHow. 2015. [http://www.ehowenespanol.com/son-baterias-gel-info\_313646/, 22 de diciembre de 2015].
- [31] MAÑANA, M. *Regulación, control y protección de máquinas eléctricas*. Apuntes de la asignatura Convertidores electrónicos de potencia. Escuela Técnica de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones de la Universidad de Cantabria. Santander. [http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/maquinas-electricas/materiales/convertidores.pdf, 22 de diciembre de 2015].

- [32] ECURED. CONOCIMIENTO CON TODOS Y PARA TODOS. *Motor imán permanente*. 2016. [http://www.ecured.cu/Motor\\_im%C3%A1n\\_permanente](http://www.ecured.cu/Motor_im%C3%A1n_permanente), 15 de gener de 2016].
- [33] HÍJAR, G.A. *Estudio energético de un vehículo híbrido con pila de combustible*. Universitat Politècnica de Catalunya, ETSEIB. [<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Zlb74Pp8ZwkJ:upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/10007/PFC.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy+&cd=1&hl=ca&ct=clnk&gl=es>, 02 de gener de 2016].
- [34] FONTÁN, C. *Modelización de un vehículo eléctrico de la formula student*. Trabajo de final de grado presentado en la Universitat Politècnica de Catalunya, EUETIB, 2014.
- [35] CHEN, K., BOUSCAYROL, A., LHOMME, W. *Energetic Macroscopic Representation and Inversion-based Control: Application to an Electric Vehicle with an Electrical Differential*. *Journal of Asian Electric Vehicles*. Vol. 6(1), 2008, p. 1097-1102.
- [36] BOUSCAYROL, A. *Prof. Alain BOUSCAYROL at Université Lille 1*. Université Lille, EMR Website, 2005. [<http://www.emrwebsite.org/alain-bouscayrol-2.html>, 22 de desembre de 2015].
- [37] BOUSCAYROL, A., BRUYÈRE, A., DELARUE, P., GIRAUD, F., LEMAIRE-SEMAIL, B., LE MENACH, Y., LHOMME, W., LOCMONT, F. *Teaching drive control using Energetic Macroscopic Representation – initiation level*. Aalborg: EPE, 2007.
- [38] BOUSCAYROL, A. *Study of Energetic Systems using Energetic Macroscopic Representation*. Université Lille. EMR seminari en la Universitat Politècnica de Catalunya, Novembre 2013.
- [39] BOUSCAYROL, A. *Control of Hybrid Electric Vehicles using Energetic Macroscopic Representation*. Pekín: IEEE-VPPC, 2013.
- [40] BOUSCAYROL, A. DELARUE, P., SEMAIL, E. *Modelisation et Commande des Systemes Energetiques par Representation Energetique Macroscopique (REM)*. Université Lille. Laboratoire de Electrotechnique et d'Electronique de Puissance de Lille, 2005.
- [41] QUICKIE. LIVE WITHOUT LIMITS. *Tu controlas tu vida*. Sunrise Medical, Servicio de electrónica. Vizcaya, 2015.

### **Bibliografia complementària**

ARMENGOL, L. *Disseny d'una cadira de rodes elèctrica de fàcil fabricació*. Girona: Treball Fi de Carrera de la Universitat de Girona, Escola Politècnica Superior, 2013.

QUICKIE. LIVE WITHOUT LIMITS. *Las sillas electrónicas de alta gama*. Sunrise Medical, Servicio de electrónica. Vizcaya, 2013.

QUICKIE. LIVE WITHOUT LIMITS. *La gama alta de sillas electrónicas*. Sunrise Medical, Servicio de electrónica. Vizcaya.

QUICKIE. JIVE. *Factura silla de ruedas JIVE M*. Sunrise Medical, Servicio de electrónica, 2015.

PIERQUIN, J. *Contribution a la Commande Del Systemes Multimachines Multiconvertisseurs. Application à la résolution de problèmes en traction électrique*. These présentée à Université des Sciences et Technologies de Lille, 2002.

NOUCH, A. *Contribution au Développement d'un Simulateur pour les Véhicules Électriques Routiers*. These présentée délievré conjointement par l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard et par l'Université de Franche-Comté, 2008.

BOUSCAYROL, A., LETROUVÉ, T. *Simulation of an electric vehicle using a PM DC machine (EMR-based and Matlab-Simulink)*. EMR seminar en la Universitat Politècnica de Catalunya, Novembre 2013.

BOUSCAYROL, A. *Graphical rules of EMR*. Université Lille, EMR graphical rules, 2014.