

# Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials (GETI)

## Conceptualització i disseny per a la fabricació per impressió 3D d'articulacions posturals per a cadires de rodes motoritzades

### MEMÒRIA

24 de gener de 2022

**Autor:** Núria Llanses Martínez

**Director:** Joaquim Minguella Canela

**Convocatòria:** Gener 2022



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona





## Resum

Les cadires de rodes són un dels mitjans més comuns per millorar la facilitat del moviment de les persones amb mobilitat reduïda. Tot i això, en un context quotidià (cuina, despatx) hi ha grans dominis de l'entorn que es troben en posicions no assolibles quan la persona usuària es troba normalment asseguda. Per tal de facilitar l'accés a aquestes posicions, una cadira motoritzada pot, per exemple, alçar la persona usuària per apropar-la al seu objectiu. Però quan s'articulen les diferents seccions del seient de la cadira de manera convencional, els centres de rotació d'aquestes no coincideixen amb els centres de rotació de les articulacions humanes, causant un baix nivell de confort.

El present treball té com objectiu la conceptualització de mecanismes i el disseny per a la fabricació per impressió 3D d'articulacions per a cadires de rodes motoritzades, per aconseguir variar la postura de la persona usuària d'una manera més confortable, facilitant les tasques diàries de les persones amb mobilitat reduïda, millorant així la seva qualitat de vida. El treball contempla tant la formulació del problema, com la proposta, anàlisi i desenvolupament d'alternatives, tenint un focus especial en la component de disseny per a la fabricació mitjançant tecnologies d'impressió 3D.

En aquest projecte s'ha aconseguit dissenyar un mecanisme d'articulacions posturals per a cadires de rodes motoritzades i s'ha estudiat la seva materialització mitjançant impressió 3D. En primer lloc, s'ha realitzat la síntesi dels mecanisme analitzant diferents alternatives per a diferents moviments. També s'ha realitzat una anàlisi cinemàtica del mecanisme dissenyat amb la finalitat de verificar el correcte funcionament d'aquest. En segon lloc, s'ha realitzat el disseny 3D del mecanisme mitjançant *SolidWorks*, dissenyant cada membre que compona el mecanisme seguint regles de disseny per a la impressió 3D, per posteriorment realitzar un assemblatge amb totes les peces. Per dissenyar les peces que componen l'assemblatge, s'ha tingut en compte que es volia imprimir una maqueta amb tecnologia de Fabricació per Deposició de Fil Fos. És per això que els perfils s'ha adaptat per facilitar l'ús de suports. Finalment, el disseny 3D s'ha materialitzat obtenint així un prototip a escala reduïda.



## Índex

<b>Índex de figures</b>	<b>6</b>
<b>Índex de taules</b>	<b>7</b>
<b>1 Glossari</b>	<b>8</b>
<b>2 Prefaci</b>	<b>9</b>
2.1 Origen del projecte . . . . .	9
2.2 Motivació . . . . .	9
<b>3 Introducció</b>	<b>10</b>
3.1 Objectius del projecte . . . . .	10
3.2 Abast del projecte . . . . .	10
3.3 Requeriments previs . . . . .	11
<b>4 Planificació</b>	<b>12</b>
<b>5 Anàlisi del problema</b>	<b>13</b>
5.1 Punt de partida . . . . .	15
5.2 Problema a resoldre . . . . .	18
5.3 Requeriments del disseny . . . . .	19
5.3.1 Entorn . . . . .	19
5.3.2 Ergonomia . . . . .	19
5.3.3 Conclusió dels requeriments del disseny . . . . .	19
<b>6 Fabricació Additiva</b>	<b>21</b>
6.1 La primera tecnologia: la estereolitografia . . . . .	22
6.1.1 Història . . . . .	22
6.1.2 Estereolitografia . . . . .	22
6.2 Tecnologies utilitzades . . . . .	24
6.2.1 Modelat per deposició de fil . . . . .	24
6.2.2 Selective Laser Sintering . . . . .	26
6.2.3 Material Jetting . . . . .	27

<b>7 Resultats de la síntesi i Anàlisi cinemàtica de mecanismes</b>	<b>28</b>
7.1 Sub-Mecanisme per a realitzar el moviment A . . . . .	28
7.1.1 Anàlisi cinemàtica del sub-Mecanisme per a realitzar el moviment A . . .	30
7.2 Sub-Mecanisme per a realitzar el moviment B . . . . .	30
7.2.1 Anàlisi cinemàtica del sub-Mecanisme per a realitzar el moviment B . . .	32
7.3 Mecanisme global . . . . .	33
<b>8 Estudi de patents existents</b>	<b>35</b>
<b>9 Disseny per a la impressió 3D</b>	<b>38</b>
9.1 Requeriments del disseny per a la impressió en 3D . . . . .	38
9.2 Modelat 3D del mecanisme . . . . .	40
<b>10 Impressió 3D de maquetes del mecanisme</b>	<b>45</b>
10.1 Primera prova d'impressió . . . . .	45
10.2 Segona prova d'impressió . . . . .	46
10.3 Tercera prova d'impressió . . . . .	47
10.4 Conclusions de les proves d'impressió . . . . .	48
<b>11 Normativa aplicable</b>	<b>49</b>
<b>12 Eines utilitzades</b>	<b>51</b>
12.1 Programa d'anàlisi de mecanismes-PAM . . . . .	51
12.2 SolidWorks . . . . .	51
<b>13 Pressupost</b>	<b>52</b>
<b>14 Impacte ambiental</b>	<b>54</b>
<b>Conclusions</b>	<b>55</b>
<b>Agraïments</b>	<b>57</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>58</b>
<b>Annex</b>	<b>63</b>

## Índex de figures

1	Planificació temporal del treball fi d'estudis. Font: Elaboració pròpia . . . . .	12
2	Cadires de rodes . . . . .	17
3	Moviments. Font: Elaboració pròpia . . . . .	20
4	Funcionament de la FFF. Font: [15] . . . . .	24
5	Mecanisme per a realitzar el moviment A. Font: Elaboració pròpia . . . . .	29
6	Mecanisme per a realitzar el moviment A amb el PAM. Font: Elaboració pròpia .	29
7	Gir del seient $\psi_2$ en funció del gir del reposa-braços $\psi_1$ . Font: Elaboració pròpia .	30
8	Mecanisme descartat per a realitzar el moviment B. Font: Elaboració pròpia . . .	30
9	Mecanisme per a realitzar el moviment B. Font: Elaboració pròpia . . . . .	31
10	Mecanisme per a realitzar el moviment B amb el PAM. Font: Elaboració pròpia .	31
11	Desplaçament $s_3$ del punt D en funció del gir $\psi_1$ . Font: Elaboració pròpia . . . . .	32
12	Gir del reposa-cames $\psi_2$ en funció del gir $\psi_1$ . Font: Elaboració pròpia . . . . .	33
13	Mecanisme que permet realitzar els dos moviments. Font: Elaboració pròpia . .	34
14	Cadira de rodes amb seient regulable - WO/2009/010600. Font: [16] . . . . .	35
15	Dispositiu motoritzat de desplaçament- WO/2017/105168 A1. Font: [17] . . . . .	36
16	Cadira de rodes per a persones discapacitades-WO/2008/103019A1. Font: [18] .	36
17	Cadira de rodes elevable i transformable en llitera- WO/2009/010602. Font: [20]	37
18	Bridging. Font: [21] . . . . .	38
19	Forats d'eix vertical. Font: [22] . . . . .	39
20	Voladissos. Font: [23] . . . . .	39
21	Dimensions i perfil de les guies i forats emprats (mm). Font: Elaboració pròpia .	41
22	Dimensions i perfil de les corredores i eixos emprats (mm). Font: Elaboració pròpia	42
23	Dimensions i perfil dels conjunts de forat-eix i guia-corredora emprats (mm). Font: Elaboració pròpia . . . . .	43
24	Disseny 3D de l'assemblatge. Font: Elaboració pròpia . . . . .	44
25	Primera prova d'impressió. Font: Elaboració pròpia . . . . .	45
26	Segona prova d'impressió. Font: Elaboració pròpia . . . . .	46
27	Part posterior de la segona prova d'impressió. Font: Elaboració pròpia . . . . .	47
28	Tercera prova d'impressió. Font: Elaboració pròpia . . . . .	47
29	Mecanisme amb persona pel Moviment A. Inici. Font: Elaboració pròpia . . . . .	63
30	Mecanisme amb persona pel Moviment A. Final. Font: Elaboració pròpia . . . . .	64

31	Mecanisme amb persona pel Moviment B. Inici. Font: Elaboració pròpia . . . . .	65
32	Mecanisme amb persona pel Moviment B. Final. Font: Elaboració pròpia . . . . .	66



## Índex de taules

1	Variants de l'Estereolitografia . . . . .	22
2	Cost total del projecte (sense IVA) . . . . .	53
3	Cost total del projecte (amb IVA) . . . . .	53

# 1 Glossari

- **CAD:** Computer-Aided Design. Disseny assistit per ordinador.
- **CAM:** Computed-Aided Manufacturing. Fabricació assistida per ordinador.
- **CIF:** Classificació internacional del funcionament.
- **Codi G:** nom que habitualment rep el llenguatge de programació més utilitzat en control numèric. El Codi G conta de comandes, cada una amb un moviment o acció assignat. La combinació d'aquestes comandes permet a la impressora 3D entendre quin patró seguir amb la finalitat de crear la peça final.
- **FFF:** Fabricació per Fil Fos
- **LMT:** Layer Manufacturing Technologies. Tecnologia de fabricació per capes.
- **PLA:** Àcid polilàctic, és un polímer biodegradable que s'utilitza en molts àmbits. En els darrers anys, l'ús d'aquest filament s'ha popularitzat en impressió 3D.
- **OMS:** Organització mundial de la salut.
- **PAM:** Programa d'Anàlisi de Mecanismes.
- **PVA:** Alcohol polivinílic. És un filament soluble en aigua que s'utilitza com material de suport en impressió 3D.
- **SLS:** Selective Laser Sintering. Sinteritzat Selectiu per Làser.
- **STL:** Standard Triangle Language. És un format d'arxiu que permet emmagatzemar la descripció d'un objecte 3D.

## 2 Prefaci

En aquest apartat es defineix l'origen del projecte i la motivació que l'ha impulsat, així com els requisits previs necessaris per dur-lo a terme.

### 2.1 Origen del projecte

Aquest treball neix de l'interès en aprofundir en conceptes introduïts en les assignatures d'Expressió Gràfica, Teoria de Màquines i Mecanismes i Sistemes de Fabricació, cursades durant el grau. El fet de centrar el treball en l'àmbit del disseny per a la fabricació suposava una gran oportunitat per poder acabar el grau millorant els coneixements prèviament adquirits. Per això, es va contactar amb el professor Joaquim Minguella, director del treball, i va ser ell qui va proposar fer un disseny per a la fabricació per impressió 3D d'articulacions posturals per a cadires de rodes motoritzades. Sens dubte, una millora en les articulacions de les cadires de rodes motoritzades pot aconseguir variar la postura de la persona usuària d'una manera més còmoda, facilitant les tasques diàries de les persones amb mobilitat reduïda.

### 2.2 Motivació

La motivació principal d'aquest treball ha estat endinsar-se en un àmbit d'interès personal, com és la fabricació additiva. Realitzar aquesta recerca ha ajudat a aprofundir en els coneixements sobre el disseny per a la fabricació per impressió 3D.

En segon lloc, la idea de poder dissenyar un mecanisme que tingués la possibilitat de poder ser aplicat en un dispositiu.

Finalment, poder aplicar part dels coneixements adquirits al llarg del grau en un projecte.

### 3 Introducció

#### 3.1 Objectius del projecte

Aquest projecte té dos objectius principals: el primer és fer una síntesi i anàlisi de mecanismes que puguin ser emprats en les articulacions posturals per a cadires de rodes i, el segon és aportar un disseny en 3D del mecanisme dissenyat.

El disseny es realitzarà utilitzant *SolidWorks*, tenint en compte que la seva fabricació serà mitjançant impressió 3D.

Per complir els objectius principals comentats, s'han fixat uns objectius secundaris:

1. Fer una breu anàlisi del problema, explicant els tipus de discapacitat i les ajudes tècniques existents.
2. Buscar informació dels problemes més comuns amb els quals es troben els usuaris de cadires de rodes, amb la finalitat de dissenyar un mecanisme que els minimitzi.
3. Explicar la tecnologia d'impressió 3D i en que consisteix. Comentar les limitacions que aquesta presenta i també les consideracions que cal tenir en compte a l'hora de dissenyar per imprimir en 3D.

#### 3.2 Abast del projecte

Aquest projecte es centra en el disseny d'articulacions posturals per a la fabricació per impressió 3D. Per a la realització d'aquest treball s'ha intentat tenir en compte els punts més importants que s'han de considerar quan es desenvolupa un projecte real. Des d'un estudi de les necessitats dels usuaris, passant per l'anàlisi del mecanisme per aconseguir arribar al disseny d'un prototip. Finalment, es farà un estudi de la part econòmica i un breu estudi d'impacte ambiental del projecte.

Tot seguit es mencionen les idees que es consideraran:

- El disseny es centra només en la fabricació per impressió 3D. Per això, les consideracions del disseny no tindran en compte cap altre tipus de tecnologia de fabricació.
- Degut a les grans dimensions del mecanisme, el prototipus del model en 3D que es desen-

voluparà serà a escala reduïda.

### 3.3 Requeriments previs

Aquest treball fa d'estudis integra diverses disciplines. Com que consisteix en la conceptualització i disseny per impressió 3D d'articulacions posturals per a cadires de rodes s'hi poden trobar les disciplines de disseny i fabricació. També s'hi poden veure conceptes relacionats amb l'enginyeria mecànica, ja que és necessari estudiar el moviment dels mecanismes utilitzats per millorar les articulacions posturals de les cadires de rodes motoritzades. A causa d'això, han estat necessaris els coneixements adquirits en les assignatures de Teoria de Màquines i Mecanismes, Expressió gràfica i Sistemes de Fabricació, cursades en el grau.

Per poder dur a terme el present treball, han sigut necessaris uns requeriments mínims que s'enumeren a continuació:

1. Tenir coneixements bàsics de la tecnologia de fabricació additiva, donat que el treball es centra en el disseny per a la fabricació per impressió 3D.
2. Tenir domini de l'eina de treball *SolidWorks* per al disseny del mecanisme en 3D.
3. Tenir coneixements bàsics d'ús del programa *PAM*, per realitzar anàlisis de mecanismes.

## 4 Planificació

Tot projecte requereix un estudi preliminar que compti amb la planificació d'aquest. És necessari tenir present les limitacions que poden haver per a realitzar una planificació realista. Per a realitzar la planificació d'un treball final de grau s'ha de tenir en compte la durada total del projecte. El treball de fi de grau equival a 12 crèdits ECTS i cada crèdit ECTS representa 25 hores de treball aproximadament. Per tant, la dedicació al treball fi de grau equival a 300 hores al llarg de tot el quadrimestre acadèmic. Un cop determinades les hores necessàries per a realitzar el projecte es pot definir l'abast del treball i la distribució temporal de cada tasca. A la figura adjunta es mostra el diagrama de Gantt de la planificació. Com es pot observar, algunes tasques s'ha superposat ja que s'ha considerat més eficient realitzar-les de forma simultània.

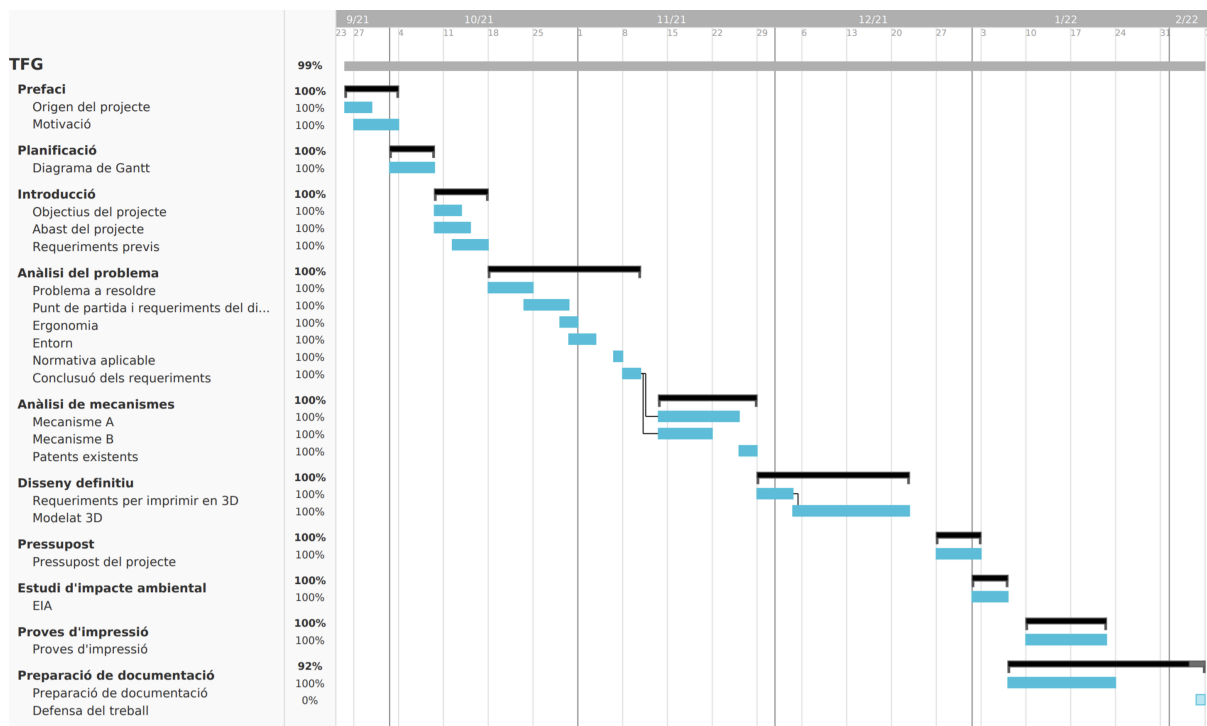


Figura 1: Planificació temporal del treball fi d'estudis. Font: Elaboració pròpia

## 5 Anàlisi del problema

L'Organització Mundial de la Salut (OMS) defineix el terme "Discapacitat" com una restricció o impediment de la capacitat de realitzar una activitat dins el marge que es considera normal per a l'ésser humà [1].

Segons la Classificació Internacional del Funcionament (CIF) [2] de la discapacitat i de la salut existeixen quatre tipus de discapacitat:

### 1. Discapacitat física o motora

La discapacitat física impedeix a una persona desenvolupar les tasques quotidianes de una forma convencional. Es classifiquen en problemes de:

- Manipulació: limitacions en les activitats de transportar, desplaçar i agafar objectes. Inclou les accions que utilitzen peus, braços i mans. Inclou elevar, depositar, empènyer, estirar, girar, llençar i agafar objectes.
- Destresa: limitacions en les activitats que requereixen l'ús de mans i braços, i activitats de psicomotricitat fina. Inclou agafar i manipular objectes utilitzant una mà i els dits.
- Moviment: limitacions en les activitats de mantenir i canviar la posició corporal i, també traslladar-se d'un lloc a un altre utilitzant les cames, peus, mans i braços.
- Força: disminució de la força generada per la contracció d'un múscul o grup de músculs al realitzar una activitat.
- Resistència: disminució de la capacitat de suportar força. Està relacionat amb les funcions cardíaques i pulmonars.
- Veu i parla: deficiència relacionada amb el so que produeixen els òrgans vocals, normalment la dicció. Les alteracions de dicció poden incloure aspectes com el volum, la velocitat, la melodia, el ritme i la fluència. Això comporta una limitació en l'ús de la llengua.

## 2. Discapacitat sensorial

Inclou la discapacitat auditiva i visual.

La discapacitat visual inclou:

- Disminució de l'agudesia visual: pèrdua de la capacitat de distingir entre dos punts o objectes diferents.
- Camp de visió reduït: disminució de l'espai en el que un objecte pot ser vist mentre la mirada roman fixa en un punt central.
- Pèrdua de la percepció de profunditat: es produeix quan no hi ha visió binocular. Causa dificultat per percebre correctament les distàncies i les mides dels objectes.
- Enlluernament: disminució de la agudesia visual degut a un excés de llum.
- Visió nocturna reduïda: adaptació a la foscor inadequada que comporta una disminució de l'agudesia visual.
- Disminució de la percepció de contrast: disminució de la capacitat de distingir un objecte sobre el fons que l'envolta.
- Fotofòbia: dolor causat per l'exposició a la llum
- Ceguera total: pèrdua total de la visió, pot ser degut a danys produïts als ulls o a la part del sistema nerviós encarregada de processar la informació visual.

La discapacitat auditiva pot ser lleu, moderada, severa, profunda o total en funció de la disminució de la sensibilitat auditiva.

## 3. Discapacitat intel·lectual

La discapacitat intel·lectual presenta una sèrie de limitacions en les habilitats diàries que una persona aprèn i serveixen per respondre a diferents situacions de la vida.

- Intel·lecte: disminució de les funcions mentals generals que són necessàries per a comprendre les diverses funcions cognitives i el seu desenvolupament al llarg de la vida.



- Llenguatge/ comunicació: deficiència en la transmissió de missatges orals a través del llenguatge.
- Lectura-escritura: disminució de les funcions mentals específiques de reconèixer i utilitzar senyals, símbols i altres components del llenguatge.
- Memòria: disminució de les funcions mentals específiques de registre i emmagatzematge de informació i la seva recuperació quan sigui necessari.
- Atenció: disminució de la funció mental per la que ens concentrem en un instant qualsevol en un objecte o certes característiques de l'ambient.

#### 4. Discapacitat psíquica

La discapacitat psíquica és aquella que està relacionada amb el comportament de l'individu.

Segons l'OMS [1] més de 1000 milions de persones viuen amb algun tipus de discapacitat. Aquesta xifra correspon a un 15% de la població mundial aproximadament. Segons l'Institut Nacional de Estadística (INE) [3] l'any 2008 a Espanya hi havia 3,85 milions de persones amb discapacitat, el 59,8% de les quals són dones i un 77,5% d'aquestes presenta una discapacitat de moviment, mentre que en els homes aquesta xifra és de 42,6%.

#### 5.1 Punt de partida

L'Associació d'Usuaris de Pròtesis i Ajudes tècniques (AUPA) [4] defineix una ajuda tècnica com un instrument, dispositiu o eina que permet a les persones que presenten una discapacitat, ja sigui temporal o permanent, realitzar activitats que sense aquesta ajuda no podrien dur a terme o seria necessari un esforç més gran per a efectuar-les.

Les ajudes tècniques han d'evitar, o com a mínim reduir, les limitacions que presenten les persones que les necessiten, de forma que s'aconsegueixi eliminar o disminuir el desavantatge social que poden tenir.

Per a escollir l'ajuda tècnica més adequada per a cada individu cal tenir en compte el grau de discapacitat, l'entorn social de l'individu i, en alguns casos, la capacitat i l'habilitat d'aquest per a l'aprenentatge.

Per a facilitar aquesta elecció la Norma UNE-EN ISO 999:2017 “Productes de suport per a persones amb discapacitat. Classificació i terminologia” [5] classifica els productes de suport per a persones amb discapacitat en les següents categories:

- Productes de suport per al tractament mèdic personalitzat
- Productes de suport per a l’entrenament/ aprenentatge de capacitats
- Ortesis i pròtesis
- Productes de suport per a la cura i protecció personal
- Productes de suport per a activitats domèstiques
- Mobiliari i adaptacions per a habitatges i altres immobles
- Productes de suport per a la mobilitat personal
- Productes de suport per a la comunicació i la informació
- Productes de suport per la manipulació d’objectes i dispositius
- Productes de suport per a millorar l’ambient, eines i màquines

Aquesta classificació engloba un gran nombre de ajudes tècniques. Al centrar-se el treball en les articulacions posturals per a cadires de rodes, situades als productes de suport per a la mobilitat personal, es procedeix a la descripció d’aquestes.

Actualment, hi ha molts tipus de cadires de rodes al mercat per a poder fer front a les necessitats de cada usuari. Les cadires de rodes més comuns són les manuals i les elèctriques, però també n’hi ha basculants, de trasllat i super estretes, entre d’altres tipus.

- **Cadires de rodes manuals**

Es caracteritzen perquè és necessari utilitzar la força humana per al seu moviment. Poden ser propulsades per la part posterior o per l’usuari de la cadira de rodes mitjançant anells de subjecció.

- **Cadires de rodes elèctriques o motoritzades**

En aquest tipus de cadira de rodes la propulsió prové d'un motor elèctric. És necessari l'ús de bateries i, per tant, són molt més pesades i cares que les manuals. Aquest tipus de cadira és la més apropiada per als usuaris amb incapacitat d'autopropulsió.



(a) Cadira de rodes manual. Font: [6]

(b) Cadira de rodes motoritzada. Font: [7]

Figura 2: Cadires de rodes

Dins de les cadires de rodes manuals existeix un altre factor que permet classificar-les segons el tipus de xassís.

- **Fixes o rígides:** Tenen una estructura sòlida. Són robustes, difícils de transportar i ocupen molt espai si no estan sent utilitzades.
- **Plegables:** Tenen un sistema que permet reduir la seva mida significativament. Solen ser fàcils de transportar però la seva eficàcia d'impuls és menor.

A part d'aquesta classificació, existeixen altres tipus de característiques, com per exemple el diàmetre de les rodes i l'alçada i la inclinació del respall, però totes les cadires comparteixen la mateixa funció: ajudar a millorar la qualitat de vida de les persones amb mobilitat reduïda.

## 5.2 Problema a resoldre

Les cadires de rodes han suposat una millora en la qualitat de vida de les persones amb problemes de mobilitat. Tot i això, en nombroses ocasions, els usuaris senten vulnerabilitat en el seu dia a dia. No només es troben amb barreres arquitectòniques que dificulten el seu moviment a l'exterior i interior d'edificis, sinó que fer ús de la cadira de rodes en l'entorn domèstic és també un problema.

En algunes situacions, manipular la cadira de rodes en construccions estàndards, on les portes són estretes i hi ha escales, és difícil. Per això, cal fer ús del caminador però és necessari que l'usuari faci força amb els braços per impulsar-se i aixecar-se de la cadira. Realitzar aquesta acció és inviable en la majoria de casos, ja que molts usuaris senten dolor físic a causa de la seva discapacitat, cosa que els crea un impediment per a realitzar les activitats en el seu dia a dia. També tenen dificultats per arribar a prestatgeries i armaris ja que, segons estudis antropomètrics [8], l'alçada màxima a la que arriben els braços dels usuaris de cadires de rodes, sense sentir molèstia, és 1,10m.

Tant fer força amb els braços com arribar a prestatgeries i armaris és gairebé impossible en la majoria dels casos i, en cas que es pugui dur a terme, comporta dolor i inflamació a les articulacions. Això fa que els usuaris es sentin limitats ja que han de dependre d'una altra persona per a realitzar les seves tasques diàries.

És tracta doncs, de dissenyar un mecanisme que permeti a les persones usuàries de cadires de rodes motoritzades una millor adaptació a les diferents circumstàncies que es poden trobar. El mecanisme permetrà a les persones usuàries acomodar-se a les situacions sense haver de realitzar esforços, sentir dolor i sense demanar ajuda a algú, aconseguint així més independència en els seus moviments i decisions.

A l'hora de dissenyar el mecanisme és molt important tenir en compte que les articulacions de cadires de rodes actuals no s'adapten de forma adequada als usuaris. Per exemple, si l'usuari decideix elevar la inclinació de les cames, el centre de rotació de l'articulació de la cadira i el genoll no coincideixen. Això pot arribar a causar incomoditat i, en alguns casos, dolor. Per aquest motiu, cal dissenyar el mecanisme de tal manera que els centres de rotació de les articulacions i de l'usuari coincideixin.

### 5.3 Requeriments del disseny

El disseny ha de centrar-se en resoldre els problemes amb els quals es troben els usuaris de cadires de rodes en l'àmbit domèstic. Per això, cal tenir en compte l'entorn en el qual es farà servir i l'ergonomia de l'usuari.

#### 5.3.1 Entorn

Donat que el projecte es centra en l'adaptació dels usuaris en l'àmbit domèstic, el mecanisme ha de permetre a l'usuari elevar els braços còmodament, sense fer cap esforç, per a que puguin accedir amb facilitat a, per exemple, prestatgeries i armaris, igual que ho fan les persones sense cap tipus de discapacitat física.

#### 5.3.2 Ergonomia

L'ergonomia tracta d'adaptar l'entorn a les característiques de les persones per tal de millorar el confort, la salut, la independència i el benestar social. En definitiva, millorar la seva qualitat de vida [9]. Per això, cal un mecanisme que permeti a l'usuari adaptar la inclinació de les cames per modificar la seva posició en funció de l'entorn. És necessari que el mecanisme faci coincidir els centres de rotació de les cadires de rodes i els centres de rotació de les articulacions humanes, per millorar la comoditat de l'usuari.

#### 5.3.3 Conclusió dels requeriments del disseny

Tenint en compte l'entorn i l'ergonomia, els moviments que el mecanisme ha de permetre realitzar són els següents:

- **MOVIMENT A:** Ha de facilitar a la persona elevar el braç, de forma còmoda i sense haver de realitzar cap esforç, per a que, tal com s'ha comentat, pugui assolir una posició que li permeti accedir a punts que una persona sense discapacitat de moviment accedeix. Aquest moviment, també permetrà inclinar lleugerament el seient. A més d'això, combinat amb un desplaçament vertical de la cadira pot ajudar a l'usuari a arribar a llocs elevats d'un entorn domèstic, com per exemple una estanteria o armari.
- **MOVIMENT B:** Ha de permetre a la persona adaptar la inclinació de les cames, per a obtenir major comoditat. A més a més, les persones amb mobilitat reduïda acostumen a tenir mala circulació. Aquest fet, pot arribar a ocasionar greus problemes de salut, com

rampes i formigueig, sensació de refredament a peus i mans, inflamació de cames i peus, entre d'altres. Per evitar això, és important moure les cames o aixecar-les. Per això, variar la posició de les cames pot ajudar a millorar la circulació dels usuaris de cadires de rodes [10]. Per aquest moviment, cal dissenyar articulacions de la cadira de rodes que s'adaptin al moviment que fa el genoll de l'usuari.

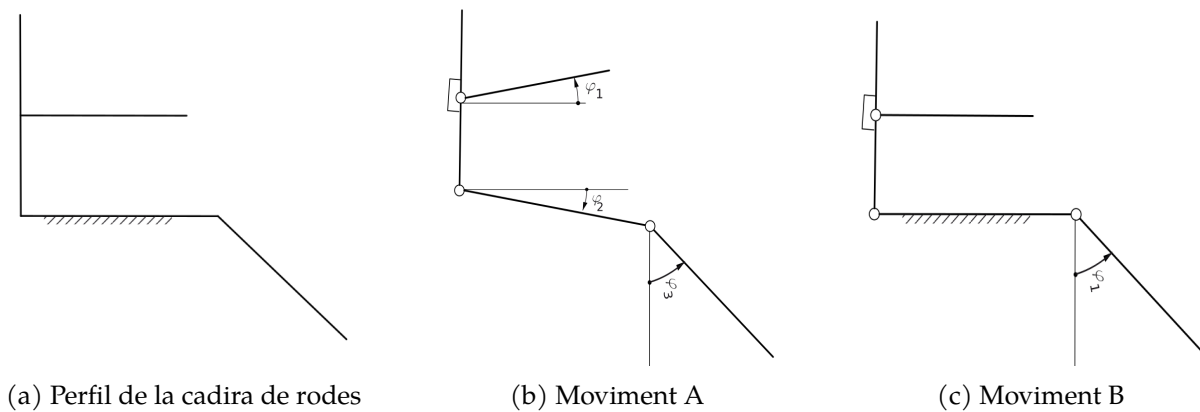


Figura 3: Moviments. Font: Elaboració pròpia

En la *Figura 3a* es pot veure el perfil simplificat d'una cadira de rodes. S'observa que el seient i el reposa-cames són fixes i no es poden adaptar a l'usuari.

En les *Figures 3b i 3c* es mostra els moviments de la cadira. En la *3b* el seient i el reposa-braços s'inclinen, mentre que en la *3c* el que es modifica només és la inclinació del reposa-cames.

## 6 Fabricació Additiva

El treball se centra en la fabricació per Impressió 3D. Per això, es procedeix a explicar en que consisteix.

S'entén la Impressió 3D (com se la coneix més a nivell social) o Fabricació Additiva (una denominació més d'àmbit tecnològic i industrial) com a la creació d'un objecte tridimensional a partir de la superposició de capes successives de material. Per fer això, es parteix necessàriament de la geometria 3D del model a reproduir. La transferència de la geometria amb els sistemes de Fabricació Additiva es fa amb fitxers STL.

El fitxer STL és una aproximació geomètrica a un model CAD mitjançant la *poliedrització* de les seves superfícies. La *poliedrització* consisteix en construir tetraedres en el model que s'ha d'imprimir. Els paràmetres d'interès per l'operador CAD són l'error cordal i la mida màxima de triangle. Aquests paràmetres afecten directament a la adaptabilitat de la malla STL sobre el model, de forma que la mida màxima de triangle disminueix a mesura que l'error cordal és menor. Cal vigilar la relació entre precisió i consum de temps i memòria.

Els fitxers STL generats han de ser preparats prèviament al seu enviament a l'equip de *Rapid Prototyping*. S'anomena *Rapid Prototyping* al procés que comporta la realització de prototips amb materials bàsics amb el fi de tenir una forma conceptual materialitzada amb el mínim temps possible. Existeixen programes CAD específics per la preparació dels fitxers STL, organització de les peces a la cubeta, disposició dels suports de les peces a la plataforma...

El darrer pas és "tallar" per capes el fitxer STL i enviar-lo a la màquina. Totes les tecnologies de *Rapid Prototyping* utilitzen la tècnica LMT (Layered Manufacturing Technologies) o de construcció per capes.

Els fitxers STL són processats pel software específic de les màquines de *Rapid Prototyping* i la geometria 3D és convertida en un nombre determinat de seccions 2D, que posteriorment seran reproduïdes per diferents processos, materials i tecnologies.

## 6.1 La primera tecnologia: la estereolitografia

### 6.1.1 Història

Al 1981 Hideo Kodama (Nagoya Municipal Industrial Research Institute, Japan) publica, sense fer patent, l'article *Automatic method for fabricating a three dimensional plastic model with photo hardening polymer* [11]

L'any 1984 Jean-Claude André, Alain La Mehauté i Olivier de Witte van fer la patent a França FR 2567668: *Dispositif pour realiser un modèle de piece industrielle*(Alcatel-CILAS) [12] però va ser abandonada per "manca de perspectives de negoci".

L'any 1986 Charles W. Hull patenta la ESTEREOLITOGRAFIA (SLA) *Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. USA Patent 4.575.330.* [13]

El 3 de Gener de 1988 3D Systems va iniciar la era dels prototips ràpids al enviar les seves tres primeres màquines d'estereolitografia a les empreses Baxter Healthcare Corp., Eastman Kodak i Pratt Whitney. L'empresa va nèixer al març de 1986 amb Charles Hull i un petit grup de socis armats amb la patent del que Hull havia anomenat Estereolitografia (SLA) a Sant Gabriel (California). A partir de l'aparició d'aquesta tecnologia i al llarg dels anys 90 es desenvolupen noves tecnologies en diferents llocs del món.

### 6.1.2 Estereolitografia

La fotopolimerització en tanc és la tecnologia amb la qual va començar la Fabricació Additiva. També es coneix com ESTEREOLITOGRAFIA (Stereo: sòlid; (foto)litografia: gravar una superfície mitjançant llum). Té quatre variants, segons forma de construcció i font d'energia. El material utilitzat és líquid o pasta fotopolimeritzable (resines epoxi termostables). Utilitza resines epoxi líquides per a realitzar els prototips. Una cubeta conté la resina fotosensible que un làser polimeritza.

Taula 1: Variants de l'Estereolitografia

	Làser UV	Projector DLP
Plataforma descendent	Estereolitografia Clàssica	Estereolitografia d'alta velocitat
Plataforma ascendent	Alta precisió petites peces	Precisió dependent de la mida

La estereolitografia funciona gràcies a un làser d'alta potència que endureix la resina líquida per



crear la forma desitjada capa a capa. Quan la impressió comença, el làser dibuixa la primera capa sobre la resina fotosensible. Aquest làser es dirigeix a les coordenades corresponents gràcies a un mirall controlat per ordinador. Després de la primera capa es mou la plataforma d'impressió de forma que permet a la resina fluir per sota de les parts ja impreses i solidificar la següent capa. Aquest procediment es repeteix fins que s'ha finalitzat el model.

La quantitat i dimensó de les peces a produir està limitat per l'àrea de la plataforma. No es poden fer peces a diferents nivells.

Per sostenir els voladius que puguin tenir les peces, a l'estereolitografia calen suports, perquè sino les peces en solidificar les peces "caurien". Aquests suports es van construir en paral·lel amb la geometria de la peça.

L'estereolitografia, quan es treballa amb resines de propòsit general, s'aplica a models conceptuals, a la obtenció de patrons per la obtenció de series curtes en model al buit o micro-fusió, i a models funcionals sempre que els assajos no siguin molt exigents en requeriments mecànics i tèrmics, tot i que per aquests casos existeixen resines específiques. A destacar l'alta precisió dels prototips obtinguts mitjançant aquesta tecnologia i la facilitat amb la que es poden obtenir acabats superficials d'alta qualitat, com el polit mirall.

L'estereolitografia va ser utilitzada en molts productes que ara estan al mercat, però degut a l'aparició de més tecnologies ha perdut el monopoli del prototipat 3D.

- **SLA 7000 i 5000 System**

Evolució del primer sistema comercial que va aparèixer de prototipatge ràpid: disseny de 5a generació. Es caracteritza per tenir un gruix de capa entre 0,05 i 0,15 mm pel model 5000, podent arribar a 0,025 en el model 7000. El tamany màxim de prototip és 500 x 500 x 600 mm. S'utilitza en grans prototips, prototips i ensamblatges funcionals, models per a fundició, models per emmotllament de silicona, per a la producció de series curtes.

- **Estereolitografia d'alta velocitat**

Format per una plataforma descendent amb projector DLP com a font de llum UV. Per exemple, PRODWAYS MOVING Light.

## 6.2 Tecnologies utilitzades

Les tecnologies de prototipatge ràpid es poden classificar segons els mètodes de crear les capes. També es poden classificar segons l'estat en que es troba el material d'impressió en el moment de la impressió on es diferencia entre líquid, pols, gas o làmines. En aquest apartat s'explicaran les tecnologies que, juntament amb l'estereolitografia, són les més utilitzades en la indústria.

### 6.2.1 Modelat per deposició de fil

L'any 1989 Scott Crump (Stratasys) patenta la Fabricació per deposició de fil (FDM, Fused Deposition Modelling) *Apparatus and Method for Creating Three-Dimensional Objects*. USA Patent 5.121.329. [14]. L'any 1991 es va emprar la primera màquina FDM FDM és l'acrònim de Fused Deposition Modelling (Modelat per Deposició de Fil), concepte patentat per l'empresa americana Stratasys, fusionada actualment amb l'empresa Objet. El venciment de la seva patent és l'origen de l'actual revolució de la impressió 3D domèstica, amb els desenvolupaments *open source*.

Ara parlem llavors de **FFF: Fabricació per Fil Fos**.

Consisteix en la creació del prototip mitjançant l'extrusió d'un cordó termoplàstic. La mida màxima de les peces es de l'ordre de 500x500x500 mm. S'obtenen peces amb una gran resistència en X, Y però fràgils en Z. Un altre broquet aporta material de suport molt més tou.

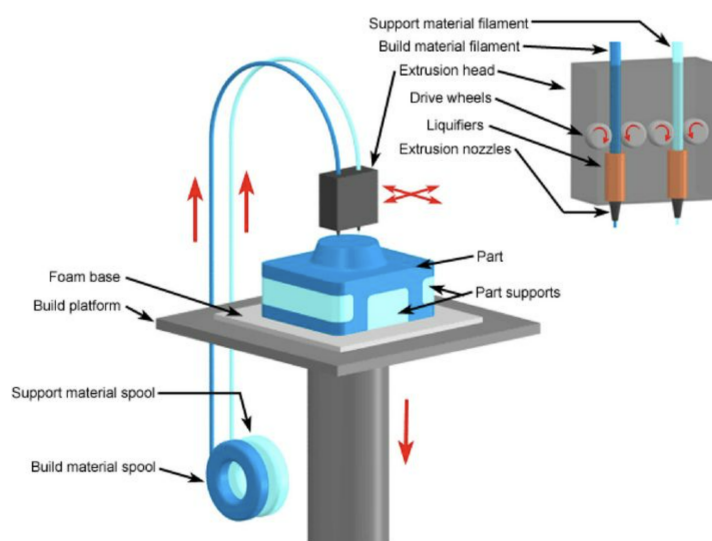


Figura 4: Funcionament de la FFF. Font: [15]

Els materials emprats són molt interessants per l'enginyeria: els equips de Stratasys construeixen prototips i peces finals amb termoplàstics d'enginyeria: ABS, policarbonat, PC-ABS, policarbonat mèdic de grau Clase VI (PC-ISO), i polisulfones. El material de modelat ve en forma de filament bobinat. Aquest filament és introduït en una extrusora que l'escalfa a un estat semi-líquid i el diposita en capes successives. Les seves propietats mecàniques permeten produir models que poden ser ensamblats, provats i fins i tot ser utilitzats com a parts finals. Les màquines poden usar dos materials, un pel model i un altra per les estructures de suport que puguin ser necessàries. Els suports poden ser de dos tipus: per a ser trencats en finalitzar la construcció o per ser dissolts en aigua.

Els paràmetres d'interès a la tecnologia FFF són:

- **Velocitat d'extrusió de filament**

Acaba determinant la velocitat del moviment del capçal en el pla XY. Considerant un broquet estàndard de 0,4 mm de diàmetre:

- La mínima velocitat de sortida de plàstic es fixa en 15 mm/s: per sota d'aquesta, la lentitud en la impressió no queda justificada per un augment de la qualitat d'impressió.
- Per a fer els perímetres interns o externs, que necessiten major cura, les velocitats d'extrusió són al voltant dels 15-20 mm/s.
- Per a fer l'emplenat (infill) de les zones delimitades pels perímetres, es poden aplicar velocitats ràpides de 60 mm/s.
- S'apliquen velocitats de 85 mm/s quan no es necessita una precisió elevada a la peça i el que es vol és reduir el temps d'impressió, podent-se arribar a velocitats de 120 mm/s.

- **Aixecament de capes (*warping*)**

Degut a les diferències de temperatura entre zones de la mateixa peça, es produeixen tensions internes que es tradueixen en contraccions no homogènies, visualitzades sovint com un aixecament de la peça respecte la plataforma. Materials com l'ABS són més sensibles que altres com el PLA. Per evitar-ho, cal treballar amb plataformes calefactades o llit calent (heated bed), així com aconseguir una bona adhesió a aquesta amb laca, reixes d'ancorat-

ge (rafts)...

- **Adhesivitat entre capes**

El filament, en dipositar-se, perd la seva forma cilíndrica, aixafant-se i adherint-se en major o menor grau a la capa anterior. El seu empilat genera un perfil vertical discontinu. La rugositat superficial alta i l'anisotropia de la resistència de les peces en Z són dos de les característiques típiques de les peces en FFF.

- **Estructures de suport**

Els voladissos de zones de les peces amb una inclinació menor a 45° respecte al pla horitzontal precisen de suports per a evitar la caiguda del filament extrudit. Un primer aspecte és evitar-los ja sigui per posicionat o disseny adaptat de la peça. Un altre és el material: pot ser del mateix filament de la peça, però fet en base a una malla fina fàcilment eliminable, o amb un material soluble (PVA, HIPS, Scaffold...).

- **Emplenament (*Infill*)**

L'emplenat interior de les peces no acostuma a ser massís. Així, el grau d'emplenat varia del 10 al 80%, segons el grau de resistència que es vulgui. Un 20% és un valor força comú. Impressores amb doble capçal, amb diàmetre i broquet diferent, poden fer contorns precisos i emplenats gruixuts de baixa densitat, optimitzant a la vegada resistència i amb un temps reduït d'impressió. La forma sol ser una malla quadrangular, però pot tenir altres formes.

### 6.2.2 Selective Laser Sintering

El sinteritzat selectiu per làser (SLS) és una tecnologia d'impressió 3D que parteix d'un recipient del polímer en pols que es calenta fins una temperatura lleugerament inferior al seu punt de fusió. A continuació, es deposita una capa fina sobre la plataforma d'impressió i un làser escaneja i sinteritza la pols i la solidifica. Per imprimir emprant aquesta tècnica no cal fer ús dels suports ja que la mateixa pols que no ha solidificat fa de suport.

### 6.2.3 Material Jetting

Els capçals injecten resina fotopolimeritzable a la safata de construcció desplaçant-se endavant i endarrere al llarg de l'eix X. Immediatament després de la deposició de cada capa, unes làmpades de llum UV actuen a la cambra, curant i endurent la capa dipositada.

## 7 Resultats de la síntesi i Anàlisi cinemàtica de mecanismes

Un cop definits els moviments que es pretenen efectuar amb el mecanisme, s'ha de realitzar una síntesi del mecanisme.

La síntesi de mecanismes és un procés en el qual s'ha de seleccionar i organitzar diferents elements de una manera apropiada, seguint les restriccions i requeriments de funcionament, per a generar la solució desitjada.

Per facilitar la síntesi del mecanisme que permeti realitzar els moviments definits en l'*Apartat 5.3*, és dividirà el mecanisme en dos sub-mecanismes. Cada sub-mecanisme permetrà realitzar un dels dos moviments definits.

Un cop realitzada la síntesi dels dos sub-mecanismes, es realitzarà una anàlisi cinemàtica d'aquests per verificar el correcte funcionament de la solució. L'anàlisi és realitzarà mitjançant el programa **PAM** (Programa d'anàlisi de mecanismes), creat per dos professors del departament d'Enginyeria Mecànica de l'ETSEIB.

Per als dos sub-mecanismes dissenyats, les dimensions s'han escollit tenint en compte les dades obtingudes dels estudis antropomètrics [8].

### 7.1 Sub-Mecanisme per a realitzar el moviment A

Com s'ha comentat en l'*Apartat 5*, aquest mecanisme ha de permetre a la persona elevar el braç i inclinar lleugerament el seient. Després de raonar quins elements podrien ajudar a realitzar aquest moviment, la configuració a la qual es va arribar va ser la que es pot veure a la *Figura 5*.

El mecanisme té un grau de llibertat, per tant és necessari un actuator  $\varphi_1$  que serà emplaçat al reposabraços. Com es pot veure, aquest està format per un piu-guia, per tal de facilitar el recolzament del braç i aconseguir que la persona pugui accedir a posicions elevades sense haver de realitzar esforç.

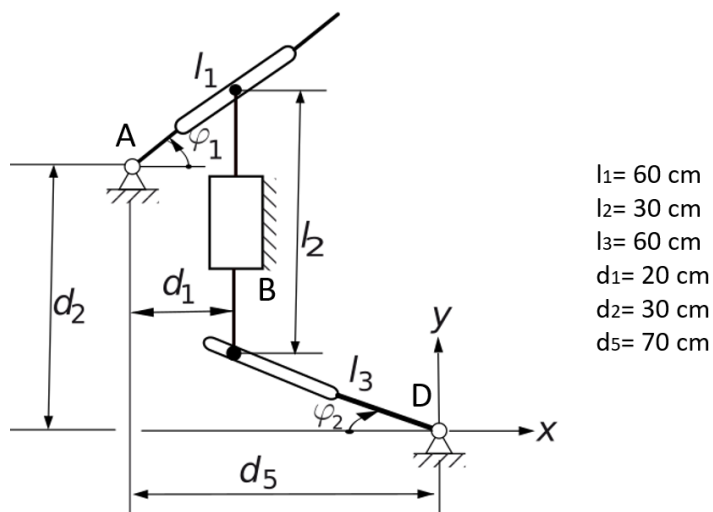


Figura 5: Mecanisme per a realitzar el moviment A. Font: Elaboració pròpia

Quan l'actuador corresponent a  $\varphi_1$  eleva el reposa-braços, que està unit per un piu-guia amb el reposa-esquena, el seient s'inclina, facilitant així que l'usuari pugui arribar a llocs elevats en l'entorn domèstic.

Un cop decidit el mecanisme, es va procedir a fer un estudi d'aquest amb el PAM. Es va verificar el correcte funcionament del moviment. El mecanisme que permet realitzar el moviment A introduït en el PAM és el que es pot observar en la *Figura 6*.

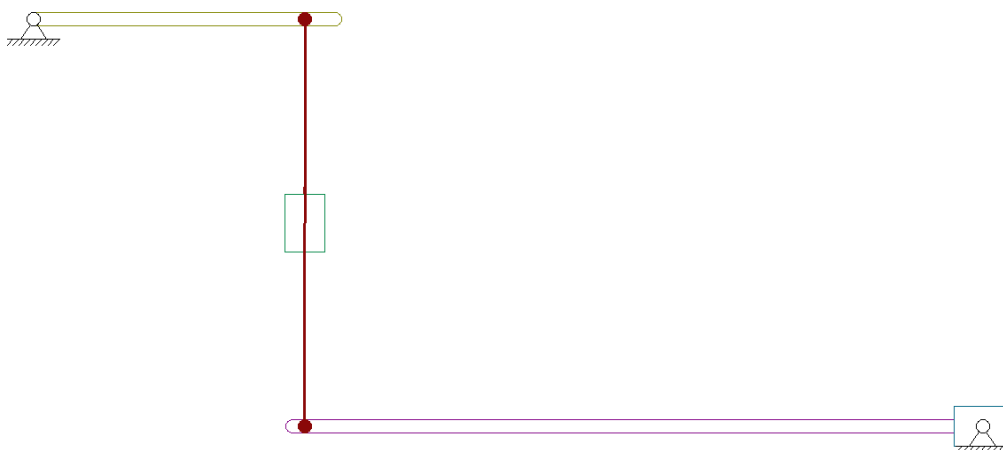


Figura 6: Mecanisme per a realitzar el moviment A amb el PAM. Font: Elaboració pròpia

Donat que un dels principals problemes que presenten les cadires de rodes actuals és que les

articulacions posturals d'aquestes i les articulacions dels usuaris no s'adapten correctament, s'ha realitzat un breu estudi del moviment amb el PAM per verificar que el mecanisme s'adapta de la millor manera possible a l'usuari (Vegeu Annex A.I).

### 7.1.1 Anàlisi cinemàtica del sub-Mecanisme per a realitzar el moviment A

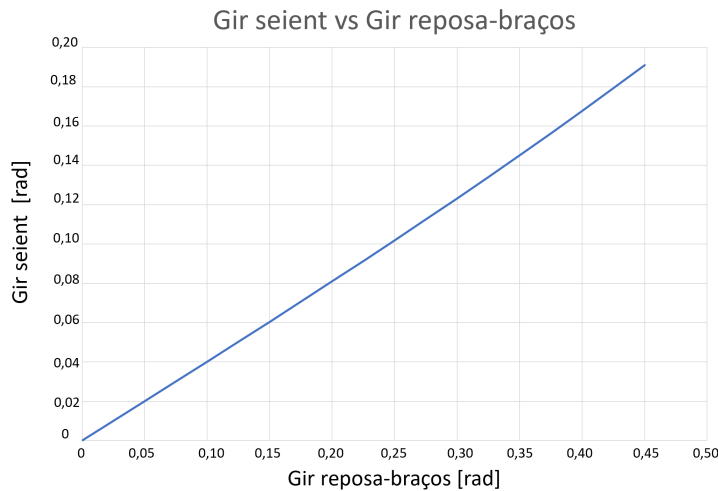


Figura 7: Gir del seient  $\psi_2$  en funció del gir del reposa-braços  $\psi_1$ . Font: Elaboració pròpia

En aquest apartat es mostra la posició del gir del seient en funció del gir del reposa-braços, anomenats a la Figura 5  $\psi_2$  i  $\psi_1$ , respectivament. Com es pot veure en la Figura 7, inicialment el seient i el reposa-braços es troben a 0 rad i, a mesura que l'actuador fa girar el reposa-braços, l'angle del seient augmenta.

### 7.2 Sub-Mecanisme per a realitzar el moviment B

Per a realitzar aquest moviment, és va considerar dues alternatives que es poden visualitzar a les Figures 8 i 9.

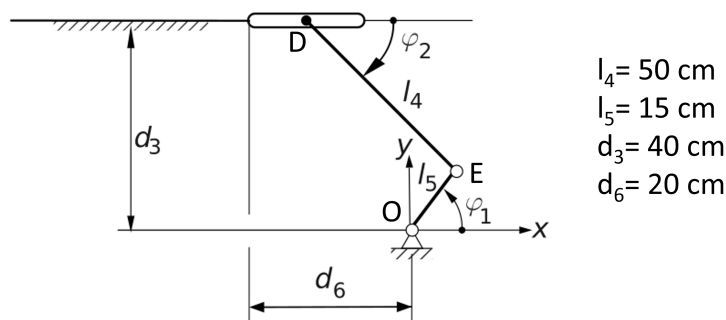


Figura 8: Mecanisme descartat per a realitzar el moviment B. Font: Elaboració pròpia



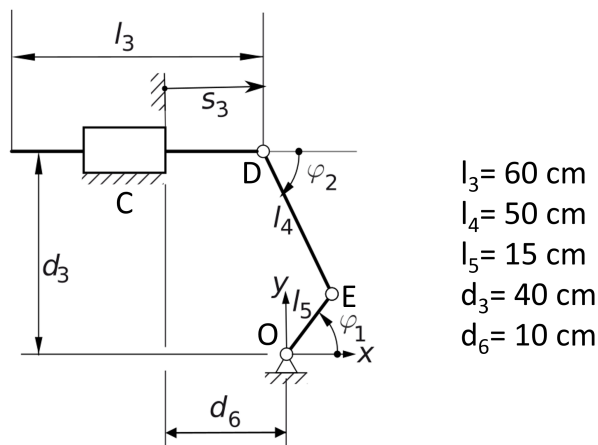


Figura 9: Mecanisme per a realitzar el moviment B. Font: Elaboració pròpia

Ambdós mecanismes són molt similars. La principal diferència és que en el mecanisme de la *Figura 8*, el reposa-cames està unit al seient fix mitjançant un piu, mentre que en el mecanisme de la *Figura 9* el reposa-cames està unit al seient per mitjà d'una articulació. En aquest segon mecanisme el seient no és fix i es pot desplaçar horitzontalment.

Finalment, el mecanisme escollit va ser el de la *Figura 9* ja que es va considerar que el moviment era més eficient en termes de comoditat per a l'usuari.

Igual que per al moviment A, es va realitzar un estudi amb el PAM del mecanisme seleccionat.

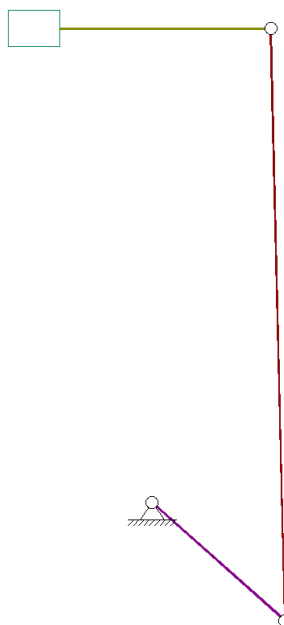


Figura 10: Mecanisme per a realitzar el moviment B amb el PAM. Font: Elaboració pròpia

Per aquest mecanisme també s'ha realitzat un breu estudi per verificar que els centres de rotació de les articulacions posturals de la cadira de rodes i els genolls de l'usuari coincideixen (Vegeu Annex A.II).

### 7.2.1 Anàlisi cinemàtica del sub-Mecanisme per a realitzar el moviment B

La Figura 11 mostra el desplaçament horitzontal del punt D, anomenat  $s_3$  en la Figura 9, en funció del gir de la part inferior, anomenat  $\psi_1$ . Com es pot observar, inicialment l'angle  $\psi_1$  es troba a  $-0,72 \text{ rad}$  i el desplaçament del punt D és de 20 cm. A mesura que l'actuador ubicat en la part inferior fa augmentar l'angle  $\psi_1$ , el valor de la coordenada  $s_3$  disminueix. El punt D es desplaça en sentit negatiu de la coordenada generalitzada  $s_3$  (segons les coordenades emprades en la Figura 9) fins que  $\psi_1$  arriba a  $-0,27 \text{ rad}$  i el punt D és troba a 0,75 cm de l'origen de la coordenada  $s_3$ .

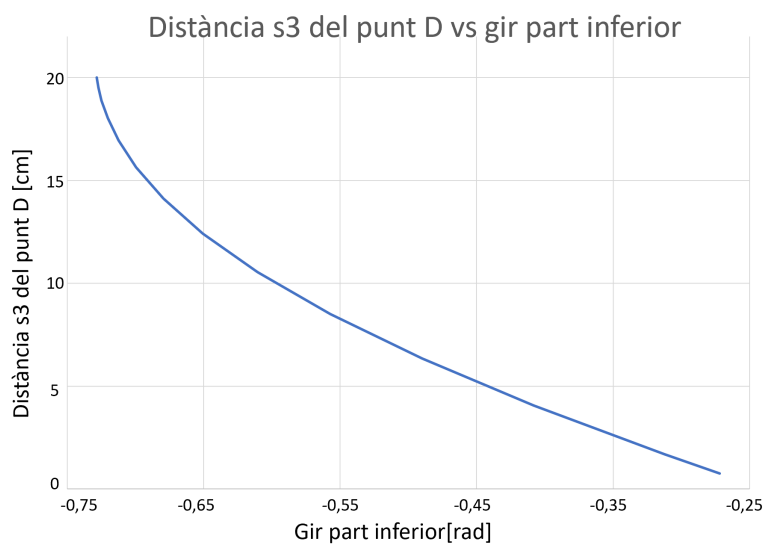


Figura 11: Desplaçament  $s_3$  del punt D en funció del gir  $\psi_1$ . Font: Elaboració pròpia

D'altra banda, també és d'interès veure la relació entre el gir de l'actuador emprat en la part inferior i el gir del reposa-cames, anomenats  $\psi_1$  i  $\psi_2$  en la Figura 9.

Inicialment,  $\psi_1$  i  $\psi_2$  es troben a  $-0,72 \text{ rad}$  i  $1,54 \text{ rad}$ , respectivament. Com es mostra en la Figura 12, a mesura que  $\psi_1$  augmenta, l'angle  $\psi_2$  disminueix. Així es verifica que quan l'actuador fa girar la part inferior es pot modificar la inclinació del reposa-cames.

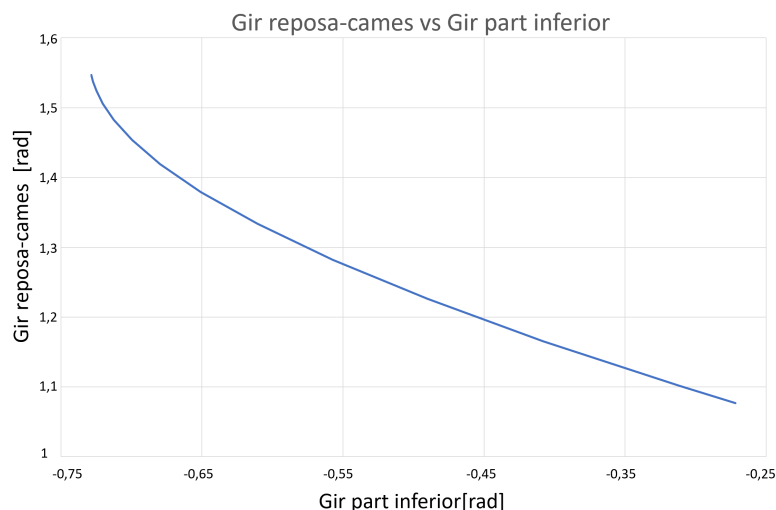


Figura 12: Gir del reposa-cames  $\psi_2$  en funció del gir  $\psi_1$ . Font: Elaboració pròpia

### 7.3 Mecanisme global

Un cop estudiats els dos sub-mecanismes, i verificat que s'adapten correctament a l'usuari, l'esquema del mecanisme global és el que es pot observar en la *Figura 13*.

El mecanisme té dos graus de llibertat,  $\varphi_1$  i  $\varphi_2$ . Quan l'actuador  $\varphi_1$  eleva el reposa-braços, el seient s'inclina i això causa que l'angle de les cames també variï, adaptant-se a l'usuari. Donat que el seient està unit per mitja d'una articulació a una guia fixa, pot inclinar-se i traslladar-se alhora.

En el cas que l'usuari vulgui modificar la posició de les cames sense variar la inclinació del reposa-braços, l'actuador  $\varphi_2$  modifica la inclinació del reposa-cames de forma que el seient és desplaça horitzontalment per la guia fixa.

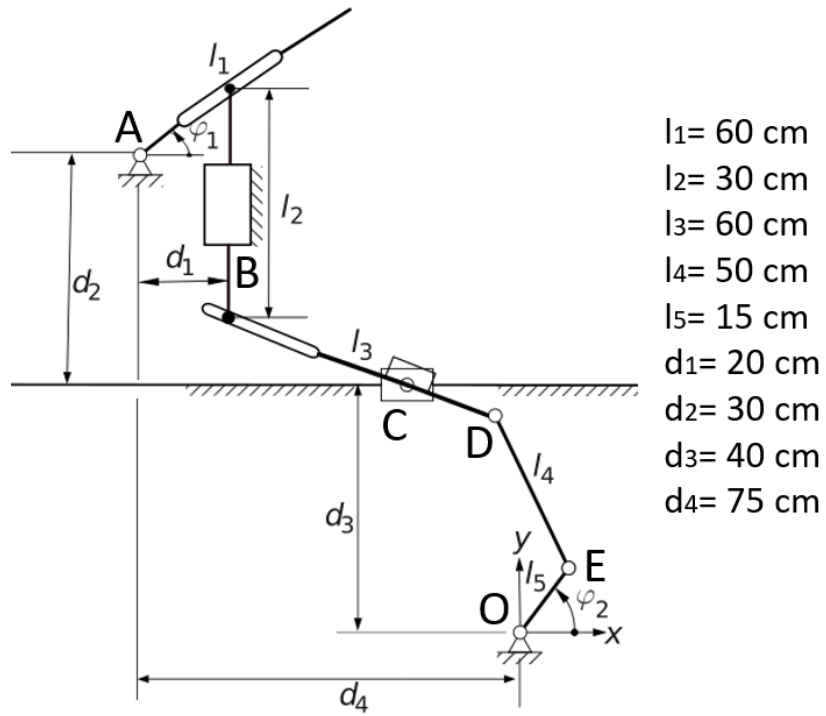


Figura 13: Mecanisme que permet realitzar els dos moviments. Font: Elaboració pròpia

## 8 Estudi de patents existents

A l'hora de dissenyar un producte s'ha de tenir en compte la innovació que aquest aporta al mercat. Degut a que la solució presentada en aquest document pretén destacar per sobre dels actuals mecanismes, cal evitar la copia de patents registrades que puguin derivar en litigis judicials contra altres companyies que podrien resultar en la retirada de la proposta del mercat. Per aquest motiu, es procedeix a analitzar les patents existents en el sector que tenen relació amb la solució que s'ha desenvolupat.

Per a realitzar aquest anàlisi, s'ha valorat la semblança entre la funcionalitat del mecanisme desenvolupat i els dispositius patentats dissenyats per ser emprats per persones amb qualsevol tipus de discapacitat de moviment.

- **Cadira de rodes amb seient regulable en alçada i inclinació- WO/2009/010600 [16]**

L'empresa Fundación Tekniker va sol·licitar una patent pel seu disseny d'una cadira de rodes en la qual el seient és regulable en alçada i la inclinació del seient pot regular-se. Aquest disseny està format per un seient mòbil respecte a la part inferior de la cadira que mitjançant un mecanisme d'acoblament, que disposa de dos braços que giren en direccions oposades, aconseguix elevar la cadira. Cada braç pot pivotar respecte a la part inferior i, les posicions angulars dels braços respecte als seus punts d'acoblament ubicats a la part inferior, determinen tant l'alçada com la inclinació de la part del seient.

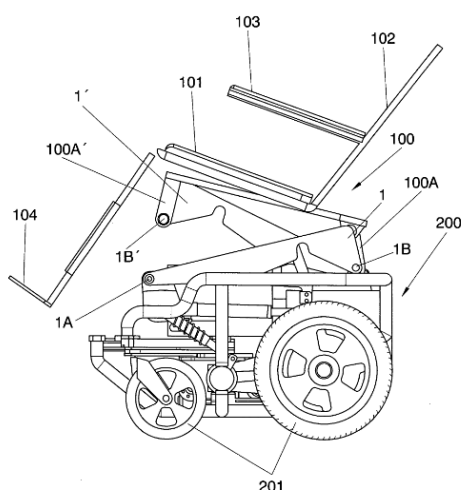


Figura 14: Cadira de rodes amb seient regulable - WO/2009/010600. Font: [16]

- **Dispositiu motoritzat de desplaçament- WO/2017/105168 A1 [17]**

Aquesta patent no fa referència a una cadira de rodes, però sí que és una invenció relacionada amb els mecanismes articulats emprats per usuaris amb limitacions en les extremitats inferiors. Aquesta invenció, descriu un dispositiu motoritzat de desplaçament caracteritzat per un seient retràctil que suporta i modula usuaris amb diferents pesos i talles.

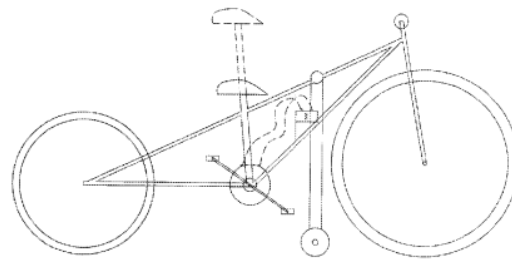


Figura 15: Dispositiu motoritzat de desplaçament- WO/2017/105168 A1. Font: [17]

- **Cadira de rodes per a persones discapacitades-WO/2008/103019A1 [18]**

La base del disseny d'aquesta patent és una cadira de rodes per a persones discapacitades caracteritzada per un xassís format per marcs tubulars, un seient amb una obertura per permetre a l'usuari realitzar les funcions fisiològiques sense haver d'abandonar la cadira de rodes, un respalller inclinable que permet a l'usuari adaptar la inclinació de l'esquena.

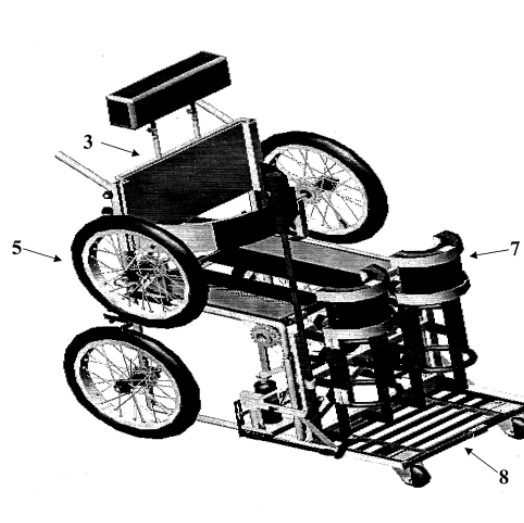


Figura 16: Cadira de rodes per a persones discapacitades-WO/2008/103019A1. Font: [18]

- **Cadira de rodes amb mecanisme grua-ES/2580979 A2 [19]**

Aquesta és una patent d'una cadira de rodes elèctrica caracteritzada perquè incorpora un mecanisme grua, el qual permet realitzar la transferència de la persona discapacitada o dependent des de la pròpia cadira fins a qualsevol superfície que es vulgui, com per exemple un llit. El mecanisme està format per un dispositiu d'ancoratge ubicat als reposabraços i un mecanisme de grua. El dispositiu d'ancoratge es emprat per a la fixació d'un arnés de subjecció de l'usuari. El mecanisme de grua està ubicat en el xassís rígid i, mitjançant un actuator connectat pels extrems al respall i als reposabraços, permet aconseguir l'elevació de l'usuari subjecte a l'arnès mitjançant el moviment dels reposabraços.

- **Cadira de rodes elevable i transformable en llitera- WO/2009/010602 [20]**

L'empresa Crea i Ajuda SL, va patentar un invent basat en una cadira de rodes elevable i transformable en llitera. Aquest disseny incorpora un bastidor que permet elevar el seient. Segons la patent, els reposabraços es troben articulats al bastidor, de forma que, un cop s'abaten lateralment, constitueixen una llitera en continuïtat amb el seient.

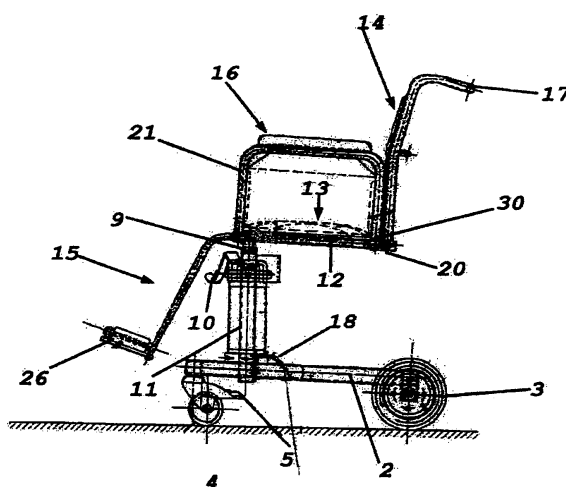


Figura 17: Cadira de rodes elevable i transformable en llitera- WO/2009/010602. Font: [20]

Una vegada realitzada la valoració de les patents que hi ha actualment, i un cop vistos els moviments que permeten realitzar, es procedeix al desenvolupament segur, legal i sense plagis de la solució proposada ja que els moviments que el mecanisme dissenyat permet realitzar són diferents als patentats.

## 9 Disseny per a la impressió 3D

### 9.1 Requeriments del disseny per a la impressió en 3D

Donat que el treball es centra en el disseny per a la fabricació per impressió 3D, per a realitzar el disseny del model, cal tenir en compte les limitacions que aquesta tecnologia presenta. Per això, es procedeix a explicar els aspectes principals a tenir en compte en el disseny per a la impressió 3D.

- **Bridging**

En impressió 3D s'anomena pont (en anglès *Bridge*) al material que s'imprimeix en l'aire però està connectat pels extrems a la peça principal. El *bridging* es produeix quan la impressora ha d'imprimir entre dos punts d'ancoratge. Com no hi ha res sobre el que construir, no hi ha suport per a la primera capa que s'ha d'imprimir i, en conseqüència, el material tendeix a enfonsar-se.

Per evitar aquest problema, una solució és reduir la distància del pont, però això pot no ser possible degut a les restriccions que presenti la peça. Una altra solució pot ser incloure un suport, que ofereix una plataforma temporal sobre la qual es construeix la capa del pont. El material emprat com a suport es retira una vegada ha finalitzat el procés d'impressió. Un inconvenient que presenta l'ús de suports és que pot deixar marques a la superfície en la qual el suport estava connectat amb la peça final.

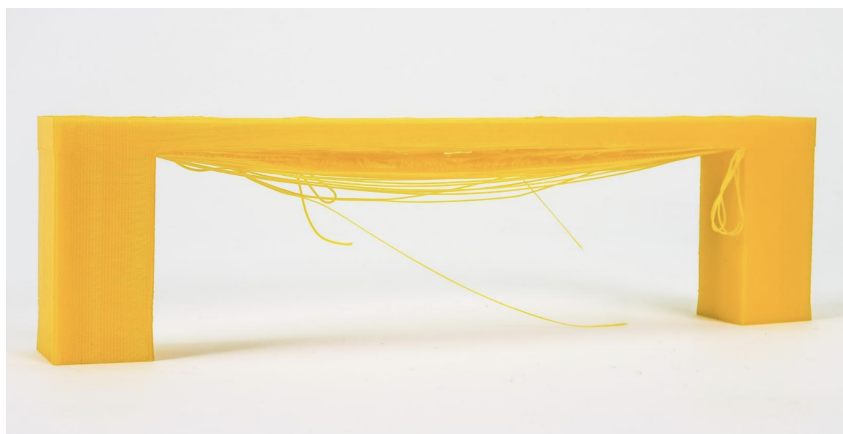


Figura 18: Bridging. Font: [21]



- **Forats d'eix vertical**

La fabricació additiva acostuma a imprimir forats d'eix vertical de mida insuficient degut a que a mesura que el broquet imprimeix el perímetre d'un forat d'eix vertical, comprimeix la capa recentment impresa sobre les capes prèviament construïdes per a millorar la adhesió. La força de compressió aplicada per la broquet deforma la forma redona i s'obté una forma més àmplia i plana. Aquest fet fa augmentar l'àrea de contacte, millorant així l'adhesió però causa un engrossiment del segment extrudit. Això provoca una disminució del diàmetre del forat que s'imprimeix.

Per evitar problemes en aquest tipus de forats, cal considerar imprimir-lo amb un diàmetre inferior i, posteriorment, perforar l'orifici amb el diàmetre correcte.

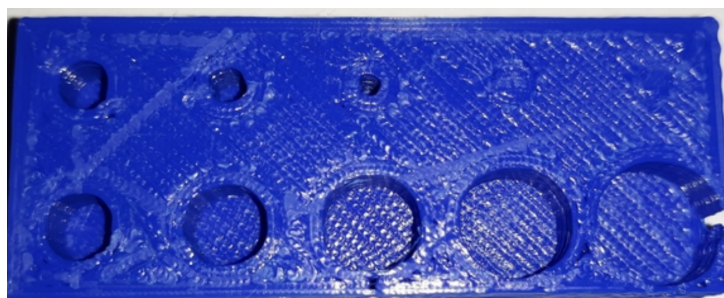


Figura 19: Forats d'eix vertical. Font: [22]

- **Voladissos**

Els problemes de voladissos són uns dels més comuns en quant a la qualitat d'impressió 3D. Aquest problema es produeix quan la capa de material impresa només es recolza parcialment en la capa inferior. Igual que en els ponts, el suport inadequat proporcionat per la superfície de sota de la capa impresa pot donar lloc a una mala adherència de la capa, resultant en una curvatura d'aquesta.

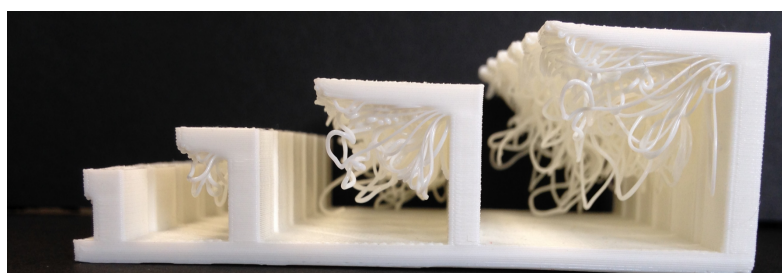


Figura 20: Voladissos. Font: [23]

Alguns materials permeten imprimir voladissos de fins 45° sense comprometre la qualitat de la peça impresa. A 45°, la nova capa impresa es recolza en el 50% de la capa anterior. Això crea suficient suport i adhesió per construir.

Per evitar problemes d'adhesió i curvatura, es recomana l'ús de suports, especialment si l'angle és superior a 45°, per garantir que la nova capa impresa s'adhereix correctament.

- **Passadors verticals**

Quan es dissenya una peça que ha de ser assemblada, en moltes ocasions, és necessari el disseny de passadors verticals per a garantir la correcta alineació de la peça. Donat que els passadors verticals tenen un ús funcional, cal tenir en compte la mida d'aquests per assegurar una correcta impressió amb la major precisió possible.

Per això, si cal imprimir passadors s'han d'imprimir amb un perímetre i un emplenat de la part interior, per a que hi hagi major connexió amb la resta de la peça impresa. Si els passadors estan formats únicament amb impressions perimetrals sense un emplenament a l'interior, es crea una discontinuïtat entre la resta de la peça impresa i el passador. Això pot causar que la peça es trenqui més fàcilment.

Si s'ha de dissenyar una peça que tingui un passador, cal considerar afegir un radi petit a la base del passador. D'aquesta manera, s'aconsegueix eliminar els punts amb altes concentracions de tensió i s'afegeix resistència.

Un cop vists els aspectes principals a tenir en compte en el disseny per a la impressió 3D, cal dissenyar el model 3D del mecanisme seguint les recomanacions i consideracions de disseny esmentades per evitar problemes.

## 9.2 Modelat 3D del mecanisme

En aquesta secció és dissenyarà una maqueta a escala reduïda del mecanisme dissenyat a l'*Apartat 7.3*. Com s'ha comentat en la secció anterior, el disseny es farà amb la previsió de que pugui ser materialitzat en el futur, mitjançant impressió 3D.

Emprant l'eina CAD *SolidWorks* (SW) s'ha dissenyat les peces que conformen el mecanisme de la maqueta i, posteriorment, s'ha realitzat un assemblatge d'aquestes. Per al disseny de les articulacions posturals, s'ha tingut en compte les recomanacions de l'*Apartat 9.1*. Addicionalment,

s'ha dissenyat les peces tenint en compte l'orientació i la direcció en la que s'imprimirà l'assemblatge en la plataforma de construcció.

El prototip s'ha dissenyat a escala  $E: 180/760$ . En el disseny s'ha tingut en compte que el material emprat en la impressió serà el PLA per la maqueta del mecanisme, ja que és un material amb el qual és fàcil imprimir i ofereix un bon acabat superficial. També s'ha previst que el programa de preparació d'impressió afegeixi suports que es fabricaran amb material soluble (PVA). Per aquest motiu, s'ha considerat el següents paràmetres:

- Alçada de la capa = 0.2 mm
- Alçada de la primera capa = 0.3 mm

L'assemblatge està format per un sòlid fix (bancada) i cinc sòlids mòbils. La bancada s'ha dissenyat amb un gruix d'extrusió de 10,1 mm, donat que la primera capa d'impressió té un gruix de 0,3 mm i les següents de 0,2 mm. Els altres cinc sòlids tenen un gruix d'extrusió de 10 mm.

El mecanisme està format per cinc parells de revolució, dos parells prismàtics i dos parells piuguia. El disseny emprat per aquests elements ha sigut el mateix i és el que es detalla a continuació:

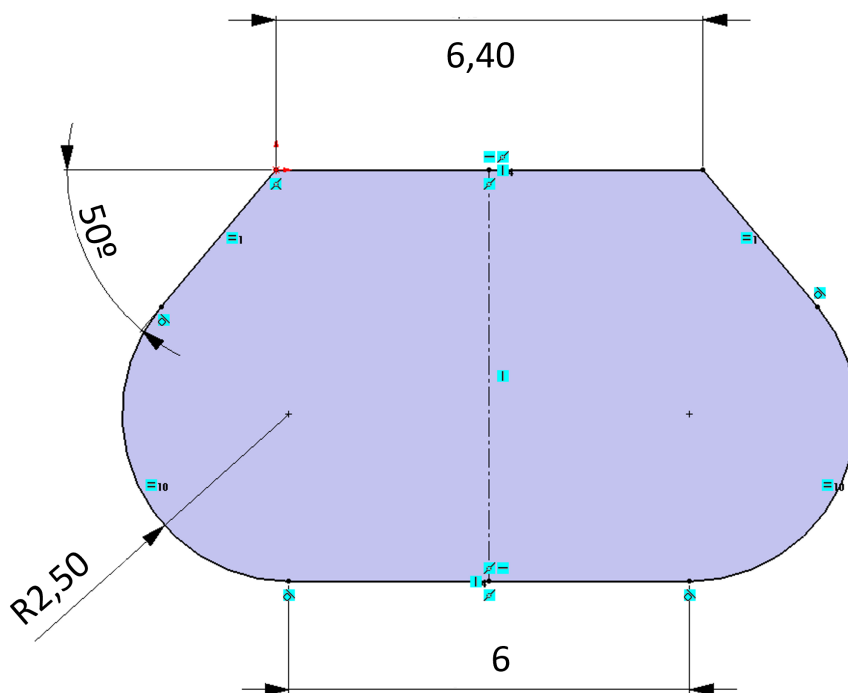


Figura 21: Dimensions i perfil de les guies i forats emprats (mm). Font: Elaboració pròpia

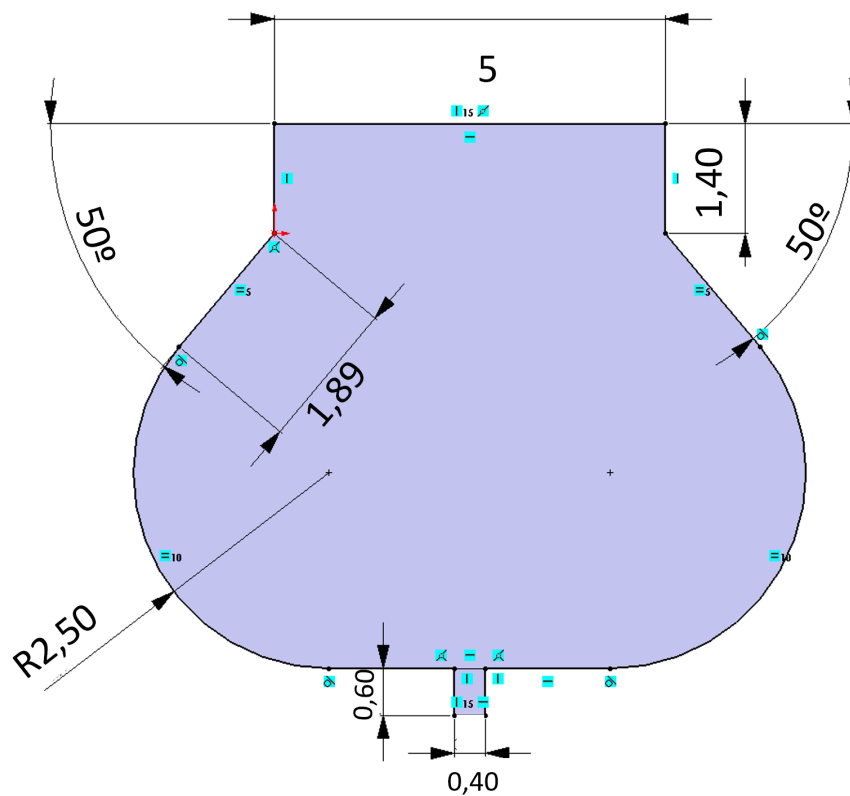


Figura 22: Dimensions i perfil de les corredores i eixos emprats (mm). Font: Elaboració pròpia

Com es pot observar en la *Figura 22*, com que les articulacions són d'eix vertical i de dimensions molt petites s'ha afegit una extensió de 0,4 mm de diàmetre i 0,6 mm d'alçada per a facilitar que el programa que s'utilitzarà per imprimir en 3D posi els suports correctament. A més a més, s'ha dissenyat els angles 50° per assegurar que les capes que s'imprimeixen s'adhereixen correctament.

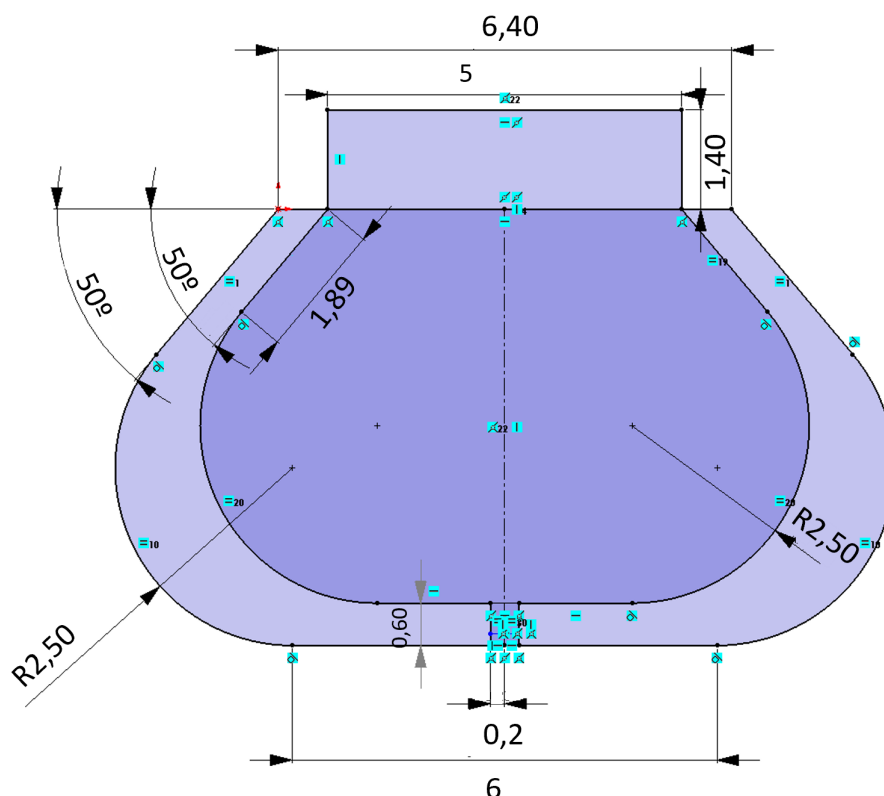


Figura 23: Dimensions i perfil dels conjunts de forat-eix i guia-corredora emprats (mm). Font: Elaboració pròpia

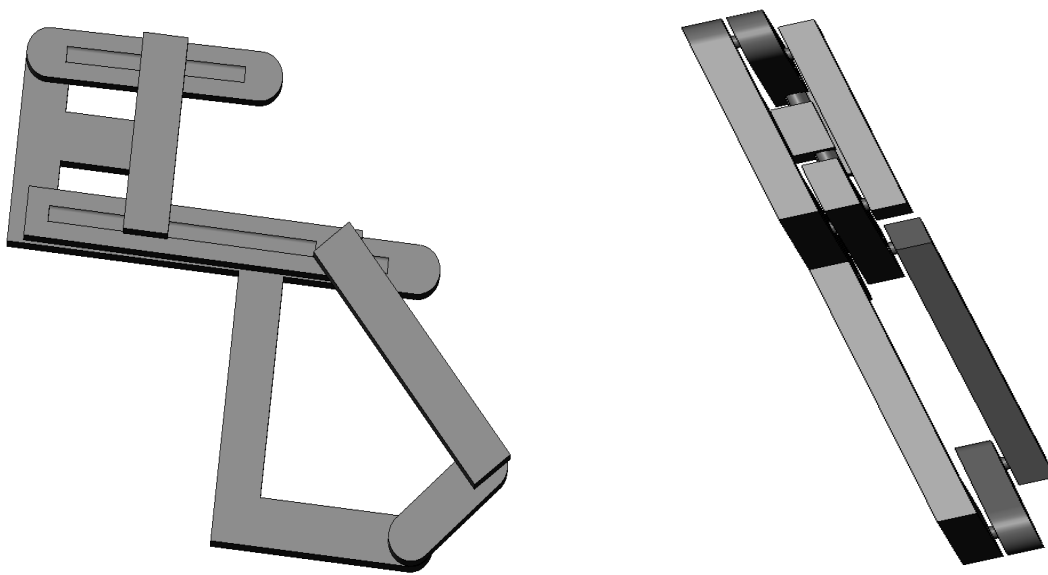
Un cop definits els croquis de les *Figures 21 i 22* es procedeix a dissenyar els sòlids en 3D i a realitzar l'assemblatge.

Referent al disseny dels parells de revolució, pels forats s'ha realitzat un tall de revolució amb el croquis de la *Figura 21*, mentre que per als eixos s'ha realitzat una revolució del croquis de la *Figura 22*.

El disseny dels parells prismàtics s'ha realitzat un tall del croquis de la *Figura 21* i una extrusió del croquis de la *Figura 22*.

Finalment, els piu-guia s'han dissenyat emprant una revolució del croquis de la *Figura 22* per als pius i un tall del croquis de la *Figura 21* per a la guia.

El resultat obtingut es pot observar a les imatges següents:



(a) Disseny 3D de l'assemblatge

(b) Perfil del disseny 3D de l'assemblatge

Figura 24: Disseny 3D de l'assemblatge. Font: Elaboració pròpia

Aquest disseny ocupa un volum de  $190,704 \text{ cm}^3$ .

Per tant, sabent la densitat del PLA es pot calcular la massa de la maqueta.

$$\text{Massa de la maqueta} = 190,74 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1,24 \text{ gPLA}}{1 \text{ cm}^3 \text{ PLA}} = 236,5 \text{ gPLA} \quad (1)$$

## 10 Impressió 3D de maquetes del mecanisme

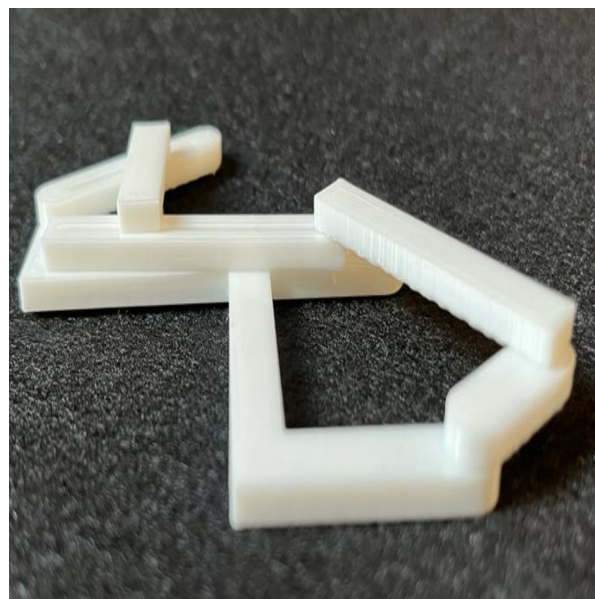
Per tal de validar el funcionament del mecanisme, es va decidir imprimir una maqueta a escala reduïda mitjançant la tecnologia de Deposició de Fil Fos. Donat que la impressora que es disposava en el moment de fer les proves només estava preparada per imprimir en un sol material, es va decidir fer servir una quantitat petita de suports i imprimir-los amb el material principal (PLA). Es van realitzar les tres proves d'impressió que es descriuen a continuació. Es va materialitzar el disseny 3D realitzat a la *Secció 9*, corresponent a les Figures 24a i 24b.

### 10.1 Primera prova d'impressió

En la maqueta de la primera prova d'impressió, es va escalar el model peça a peça al 33,33%. Això va causar que la peça fixa fos massa curta i, conseqüentment, el reposa-braços no estava inicialment horitzontal com el seient, com es pot observar a la *Figura 25a*. A l'imprimir-ho, tot i que es va intentar deixar una distància per poder retirar els suports sense problema, a causa de l'escala realitzada i les petites dimensions del model, va resultar impossible. Com es pot veure a la *Figura 25b* la distància entre les peces és massa petita.



(a) Primera prova d'impressió.



(b) Primera prova d'impressió.

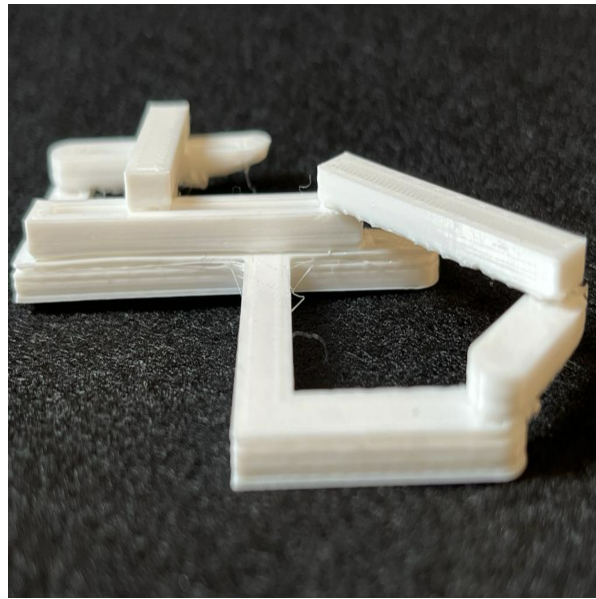
Figura 25: Primera prova d'impressió. Font: Elaboració pròpia

## 10.2 Segona prova d'impressió

Per aquesta segona prova d'impressió, la modificació de l'escala al 33,33% es va realitzar a l'assemblatge sencer. Així es va evitar que hi hagués qualsevol error en la geometria de la peça. A més a més, es va modificar la distància entre les peces per facilitar la tasca de l'extracció dels suports. Com es pot visualitzar en la *Figura 26a* el reposabraços està en una posició horitzontal, com el seient. En la *Figura 26b* es mostra el perfil del prototip i s'aprecia com la distància entre les peces és més gran que en la primera prova d'impressió.



(a) Segona prova d'impressió.



(b) Segona prova d'impressió.

Figura 26: Segona prova d'impressió. Font: Elaboració pròpia

Tot i que la distància entre peces és més gran que en la primera prova d'impressió realitzada, la tasca d'extreure els suports no s'ha pogut realitzar satisfactòriament, com es pot veure a la *Figura 26b* i a la *Figura 27*.

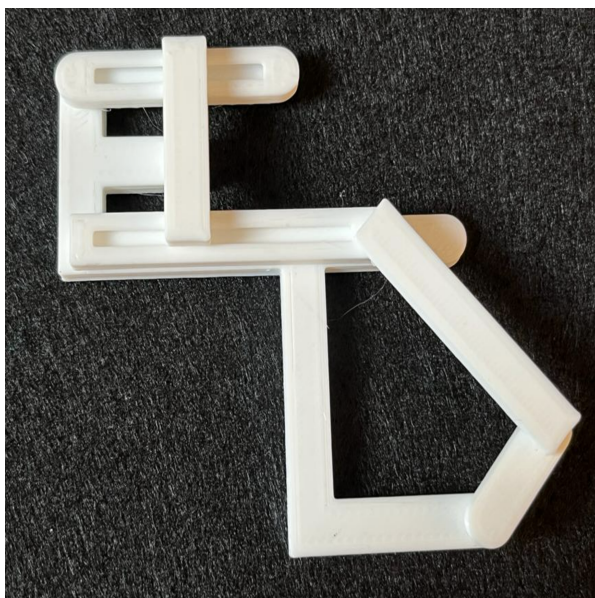




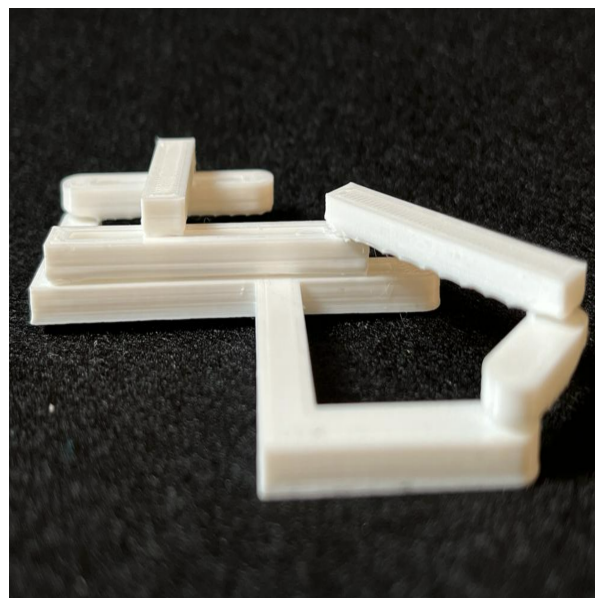
Figura 27: Part posterior de la segona prova d'impressió. Font: Elaboració pròpia

### 10.3 Tercera prova d'impressió

La maqueta impresa en la tercera prova d'impressió és igual que la impresa en la segona, però no es van retirar els suports, ja que es va considerar que a causa de la petita dimensió no seria possible fer-ho sense deteriorar la peça.



(a) Tercera prova d'impressió.



(b) Tercera prova d'impressió.

Figura 28: Tercera prova d'impressió. Font: Elaboració pròpia

#### 10.4 Conclusions de les proves d'impressió

Tot i que les proves d'impressió no han pogut obtenir un prototip funcional directe de màquina, les geometries obtingudes es poden re-treballar a mà per validar els moviments. Sí que queda validada la geometria dissenyada per a ser impresa en una impressora 3D de dos materials (suports solubles). També queda validada en el cas de ser impresa mitjançant la tecnologia de Sinteritzat Selectiu per Làser (SLS), en la qual la pols de la plataforma de construcció fa les funcions de material de suport i es pot retirar de manera senzilla; si bé aquesta tecnologia es troba en un nivell de cost superior per peça impresa. Altrament, si fos necessari, es pot seguir iterant el disseny amb més proves per determinar una millor folgança entre peces que permeti retirar els suports sense problemes.

## 11 Normativa aplicable

El mecanisme està dissenyat per a ser emprat en cadires de rodes motoritzades. No hi ha normatives respecte als mecanismes però, un cop s'hagi dissenyat la cadira de rodes on s'emprarà el mecanisme dissenyat, per a que aquesta sigui vàlida per a la seva comercialització, haurà de complir una serie de requisits i lleis imposades a nivell internacional, europeu o estatal. La majoria d'aquestes lleis s'imposen per garantir la seguretat de les persones així com la qualitat del producte i el respecte per al medi ambient. A més a més, es recomanable que compleixi normatives tècniques o estàndards que no són d'obligat compliment però que faciliten la seva fabricació i/o assemblatge, a part de garantir la seva fiabilitat i qualitat. La normativa que afecta a les cadires de rodes motoritzades i als seus components és la següent:

- *Reial Decret 1801/2003* [24]

Reial decret que fa referència a les característiques que ha de complir un producte per a que sigui considerat un producte que no posi en perill la seguretat i integritat física de una persona. El producte ha d'incloure advertències, instruccions d'ús i de reciclatge, entre d'altres.

- *Marcat CE* [25]

Per comercialitzar el producte a la Unió Europea, haurà de contar amb el marcat CE. Aquest marcat certifica que el fabricant ha avaluat el producte i considera que compleix els requisits de seguretat, sanitat i protecció del medi ambient exigits per la UE. Entre d'altres requisits, el fabricant haurà de preparar un expedient tècnic que documenti la conformitat del producte i haurà de redactar i firmar una declaració UE de conformitat.

- *Directives 2014/30/UE* [26]

Per comercialitzar el producte a la Unió Europea cal que compleixi la legislació de tots els estats membres en matèria de compatibilitat electromagnètica.

- *Directiva 2014/35/UE* [27]

Sobre l'harmonització de les legislacions dels Estats membres en matèria de comercialització de material elèctric destinat a ser emprat a determinats límits de tensió.

- *RoHS (“Restriction of Hazardous Substances”), Directiva 2011/65/UE [28]*

Restricció de certes substàncies perilloses en aparells elèctrics i electrònics: plom, mercuri, cadmi, crom VI, Bifenil polibromat (PBB) i Polibromodifenil éteres (PBDE). Aquesta directiva es troba a la legislació espanyola pel Real Decreto 219/2013 [29]

- *UNE-EN 62479 - 01/09/10 [30]*

Fa referència a la freqüència a la que han de funcionar els dispositius electrònics de baixa potència (10 MHz-300 GHz) per a una exposició segura per al cos humà.

- *UNE-EN 61558-2-1 - 01/03/07 [31]*

En relació a la seguretat dels transformadors elèctrics.

- *Reial Decret 208/2005 [32]*

Reial decret que fa referència al tractament selectiu de materials i components de dispositius elèctrics o electrònics.

## 12 Eines utilitzades

A continuació s'explica el conjunt d'eines que s'han utilitzat en la realització del treball.

### 12.1 Programa d'anàlisi de mecanismes-PAM

*PAM* és un programa que permet simular mecanismes. Cal definir cada sòlid mitjançant punts i/o rectes. Un cop els sòlids estan definits correctament, s'ha de definir els enllaços del mecanisme indicant-ne el tipus. En el cas que al mecanisme hi hagi una força externa aplicada, s'ha d'indicar en quin sòlid i en quin punt es troba. Finalment, cal definir tants actuadors com graus de llibertat tingui el mecanisme.

Amb les dades introduïdes el programa és capaç de generar les equacions d'enllaç geomètriques i cinemàtiques.

En el menú *Càlculs* es pot escollir el tipus d'anàlisi, cinemàtica o dinàmica, que es vol realitzar del mecanisme i en el menú *Resultats* es pot visualitzar el mecanisme i realitzar gràfics dels resultats obtinguts.

### 12.2 SolidWorks

*SolidWorks* és un *Software* de disseny CAD 3D basat en disseny paramètric que serveix per modelar peces i assemblatges en 3D i plànols en 2D. Ofereix un gran ventall de solucions per cobrir els aspectes implicats en el procés de desenvolupament de productes.

*SolidWorks* té eines que permeten simular el moviment del disseny i així avaluar-lo i garantir que és el millor possible. A més a més, inclou característiques molt beneficioses per una serie d'aplicacions industrials, com simulació, eines de renderitzat i eines CAM. També possibilita guardar els dissenys en format ".stl", el qual és necessari per a ser emprat en els softwares a partir dels quals establir els paràmetres d'impressió 3D i generar els codis G, que són necessaris per a que les impressores 3D imprimeixin la peça correctament.

### 13 Pressupost

El cost total del projecte s'ha calculat tenint en compte quatre costos parcials:

$$Cost\ Total = Cost\ humà + Cost\ de\ depreciació + Cost\ Electricitat + Cost\ Impressió\ total \quad (2)$$

En primer lloc, el *Cost humà* inclou el salari de l'enginyera "júnior" encarregada de realitzar el projecte. S'ha considerat un salari de 10 €/hora. Per tant, tenint en compte que la duració del projecte ha estat de 300 hores, amb la distribució d'hores que es mostra en l'*Apartat 4*, aquest s'ha calculat de la següent manera:

$$Cost\ humà = 300 \cdot \frac{10\ euros}{h} = 3000\ euros \quad (3)$$

En segon lloc, el *Cost de depreciació* fa referència a l'amortització de l'ordinador portàtil emprat durant el projecte. Es tracta d'un model MacBook Pro d'Apple, que tenia un preu de venda de 1000 euros en el moment de la compra. Considerant una vida útil de l'ordinador de 10 anys i tenint en compte que el projecte té una duració de 120 dies, el cost de depreciació és:

$$Cost\ de\ depreciació = \frac{1000\ euros}{10\ anys} \cdot \frac{1\ any}{365\ dies} \cdot 120\ dies = 32,88\ euros \quad (4)$$

En tercer lloc, el *Cost de l'electricitat* representa el consum elèctric de l'ordinador, que ha estat constantment connectat a la xarxa elèctrica durant el treball. Per a realitzar aquest càlcul s'ha emprat el preu mig de la llum de l'últim semestre, 0,3396 €/kWh [33]. A més a més, s'ha tingut en compte que l'ordinador i el monitor auxiliar emprats durant el treball consumeixen uns 100 W per hora. El cost de l'electricitat emprada en la impressió del prototip es considera negligible.

$$Cost\ Electricitat = 0,3396 \frac{euros}{kWh} \cdot 300\ hores \cdot 0,1kWh = 10,20\ euros \quad (5)$$

Finalment, el *Cost Impressió total* representa el cost de la impressió del prototip dissenyat a 9.

El *Cost Impressió material* representa el cost del material emprat per imprimir el prototip. Per

realitzar aquest càlcul s'ha considerat que filament de PLA té un preu de 20,50 €/kg.

$$Cost\ Impressió\ material = 20,50 \frac{euros}{kg} \cdot 0,2365\ kg\ PLA = 4,83\ euros \quad (6)$$

Donat que cal tenir en compte el material que cal per als suports, el *Cost Impressió material* es multiplicarà per un factor corrector de 1,3.

$$Cost\ Impressió\ PLA\ i\ suports = Cost\ Impressió\ material \times 1,3 = 6,28\ euros \quad (7)$$

El *Cost d'Impressió total* també inclou la necessitat de fer proves i un cost fix de posada en màquina. Es considera un cost fix de posada en màquina de 10 € i que s'haurà de realitzar dues proves abans d'imprimir el prototip correctament. El preu de les proves es considera igual al d'impressió del PLA i suports.

$$Cost\ Impressió = Cost\ Impressió\ PLA\ i\ suports + Cost\ proves + Cost\ posada\ en\ màquina \quad (8)$$

$$Cost\ Impressió = 6,28 + 2 \times 6,28 + 10 = 28,84\ euros \quad (9)$$

La taula mostra el valor dels quatre costs considerats i el valor del cost total derivat del projecte.

Taula 2: Cost total del projecte (sense IVA)

Cost humà	3000 €
Cost de depreciació	32,88 €
Cost electricitat	10,20 €
Cost d'impressió total	28,84 €
<b>Cost total</b>	<b>3071,92 €</b>

Al *Cost total* cal afegir el 21% d'IVA, per tant el *Cost total (amb IVA)* és de 3717,03 €.

Taula 3: Cost total del projecte (amb IVA)

Cost humà	3630 €
Cost de depreciació	39,79 €
Cost electricitat	12,34 €
Cost d'impressió total	34,90 €
<b>Cost total</b>	<b>3717,03 €</b>

## 14 Impacte ambiental

L'impacte ambiental es pot definir com el resultat d'una activitat humana que genera un efecte sobre el medi ambient que suposa una ruptura de l'equilibri ambiental [34]. L'objectiu d'un estudi d'impacte ambiental és mesurar, planificar i minimitzar qualsevol activitat que pugui alterar l'equilibri ecològic.

Aquest treball aporta un prototip d'un mecanisme per a cadires de rodes motoritzades. En aquest apartat, es realitza l'estudi d'impacte ambiental que causa la fabricació del model dissenyat en l'*Apartat 9*.

El primer aspecte que cal tenir en compte en l'impacte ambiental del prototipus és el material amb el qual es fabrica. El prototipus es fabrica amb PLA, un polímer de procedència vegetal que es produeix a partir de matèries primes renovables. La petjada de carboni d'aquest material és de 0,5 kg CO<sub>2</sub>/ kg PLA. Cal remarcar que en la impressió 3D el cost del material i el residu generat és inferior a altres metodologies de fabricació.

Coneixent la quantitat de PLA necessària per fabricar una maqueta del prototipus (0,2356 kg de PLA), es pot calcular la petjada de carboni de la maqueta.

$$0,2356 \text{ kg PLA} \cdot \frac{0,5 \text{ kg CO}_2}{1 \text{ kg PLA}} = 0,1178 \text{ kg CO}_2 \quad (10)$$

L'electricitat consumida per realitzar el projecte i imprimir el prototipus també genera emissions de CO<sub>2</sub>, però aquesta quantitat es pot considerar menystenible.



## Conclusions

Una vegada finalitzat aquest projecte, es pot afirmar que els objectius proposats a l'inici han estat assolits. L'objectiu principal d'aquest treball era dissenyar un mecanisme per a cadires de rodes motoritzades, considerant que la materialització d'una maqueta d'aquest és realitzarà mitjançant tecnologies d'impressió 3D.

Un cop analitzat els problemes que presenten les actuals cadires de rodes, s'ha pogut dissenyar un mecanisme que resol dos moviments específics: (i) aixecament de cos i braç i (ii) estirament de cames, facilitant així la vida i millorant la comoditat de l'usuari. Per a la síntesi d'aquest, s'han seguit criteris ergonòmics per assegurar la utilitat del producte. El mecanisme està format per 5 sòlids mòbils i un fix. Té dos graus de llibertat i permet realitzar els dos moviments ressenyats.

Pel que fa a la modelització del disseny en 3D, s'ha tingut en compte les limitacions que la tecnologia de impressió 3D presenta, per a poder adaptar el disseny per obtenir un bon resultat en la fabricació del prototip. El prototip ideat té un volum de  $190,704 \text{ cm}^3$ . Coneixent el volum s'ha pogut determinar el cost previst del material per imprimir el prototip i també el cost de la realització del projecte. Donat que el prototip s'imprimirà amb una impressora 3D de deposició de Fil Fos, s'ha adaptat la geometria de les articulacions, guies i pius que conformen el mecanisme per facilitar que el programa que realitza el *Codi G* col·loqui els suports necessaris correctament.

També s'ha pogut materialitzar una versió a escala reduïda del prototip del mecanisme dissenyat. Degut a l'escalat de la maqueta del prototipus, i d'haver d'utilitzar una impressió mono-material, no s'ha pogut obtenir un prototipus funcional directe de màquina.

Donat que el disseny realitzat pot ser utilitzat en cadires de rodes motoritzades en un futur, s'ha estudiat la normativa que aquestes han de complir per a la seva comercialització. En el cas que es volgués portar a terme, es podria realitzar un prototip a escala real per acabar de comprovar el funcionament del mecanisme. En el present projecte tampoc s'ha tractat el disseny de la cadira de rodes on s'emprarà el mecanisme per tant, en un futur, pot ser interessant realitzar un disseny d'aquesta.

A nivell personal, la síntesi del mecanisme ha resultat ser una part del treball enriquidora, pel repte que suposava donat que, durant el grau, només es realitzen anàlisis de mecanismes i no es veu la síntesi d'aquests. A més a més, la realització de treball ha suposat una gran oportunitat

d'endinsar-se i ampliar els coneixements del disseny per la fabricació per impressió 3D.

## **Agraïments**

Al professor Joaquim Minguella, per la seva tasca i dedicació com a director d'aquest Treball de Fi de Grau. Li agraeixo els seus consells, la confiança, el suport, les idees i solucions als diferents problemes que anaven sorgint durant la realització d'aquest treball.

Als meus amics, pels moments compartits i pel seu recolzament.

A la meva família, per donar-me ànims tots aquests mesos i confiar cegament en mi.

A tots ells, moltes gràcies.

## Bibliografia

- [1] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, *Discapacidad y Salud*, OMS 14/11/2021  
Consultat [En línea] Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>
- [2] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, *Clasificación internacional del funcionamiento, de la discapacidad y de la salud*, OMS 2001  
Consultat [En línea] Available: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43360/9241545445\\_spa.pdf](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43360/9241545445_spa.pdf)
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, *Panorámica de la discapacidad en España*, INE 2008  
Consultat [En línea] Available: <https://www.ine.es/revistas/cifraine/1009.pdf>
- [4] ASOCIACIÓN DE USUARIOS DE PRÓTESIS Y AYUDAS TÉCNICAS, *Ayudas Técnicas*, OMS 14/11/2021  
Consultat [En línea] Available: [https://sid.usal.es/idocs/F8/FD09275/capitulo2\\_1.pdf](https://sid.usal.es/idocs/F8/FD09275/capitulo2_1.pdf)
- [5] NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA, *UNE-EN ISO 999:2017*, UNE 27/0/2018  
Consultat [En línea] Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0058322>
- [6] ORTOPEDIA ITOMI , *Lloguer de cadires de rodes*,  
Consultat [En línea] Available: <https://www.ortopediaitomi.es/movilidad/alquiler-silla-de-ruedas>
- [7] PXHERE, *Fotos de domini públic*, CC0  
Consultat [En línea] Available: <https://pxhere.com/es/photo/1597196>
- [8] ENRIQUE JAVIER DE LA VEGA BUSTILLOS, FRANCISCO OCTAVIO LOPEZ MILLAN, SELENE SOTO, *Antropometría para discapacitados*, Universidad de Guanajuato 26/05/2004  
Consultat [En línea] Available: <http://www.semec.org.mx/archivos/6-22.pdf>

- [9] INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA, *Ergonomía y discapacidad*, Ministerio de trabajo y asuntos sociales 2013  
Consultat [En línia] Available: [https://www.uva.es/export/sites/uva/6.vidau\\_niversitaria/6.11.accesibilidadarquitectonica/documentos/Ergonomia.pdf](https://www.uva.es/export/sites/uva/6.vidau_niversitaria/6.11.accesibilidadarquitectonica/documentos/Ergonomia.pdf)
- [10] SUNRISE MEDICAL, *Ejercicios per millorar la circulació sanguínia en persones amb mobilitat reduïda*, Sunrise Medical 04/01/2021  
Consultat [En línia] Available: <https://www.sunrisemedical.es/blog/ejercicios-para-mejorar-la-circulacion-movilidad-reducida>
- [11] HIDEO KODAMA, *Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer*, Nagoya Municipal Industrial Research Institute 1981  
Consultat [En línia] Available: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.1136492>
- [12] JEAN-CLAUDE ANDRÉ, ALAIN LA MEHAUTÉ I OLIVIER DE WITTE , *Dispositif pour realiser un mod'ele de piece industrielle(Alcatel-CILAS)*, Compagnie Industrielle des Lasers Cilas Alcatel 1984  
Consultat [En línia] Available: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/acao-a-informacao/pasta-x/estudos-setoriais/arquivos/documentos/>
- [13] CHARLES W. HULL, *Estereolitografia*, 3D Systems 1988  
Consultat [En línia] Available: <https://patents.google.com/patent/US4575330>
- [14] SCOTT CRUMP, *Apparatus and Method for Creating Three-Dimensional Objects. USA Patent 5.121.329.*, Stratasys Inc 1989  
Consultat [En línia] Available: <https://patents.google.com/patent/US5121329A/en>
- [15] KASHISH DHAL, *Fused Filament Fabrication (FFF)*, Research Gate, 2018  
Consultat [En línia] Available: [https://www.researchgate.net/figure/Fused-Filament-Fabrication-FFF-3fig3\\_34868017](https://www.researchgate.net/figure/Fused-Filament-Fabrication-FFF-3fig3_34868017)
- [16] PATENT SCOPE, *PATENT WO/2009/010600*, Patent Scope 2009  
Consultat [En línia] Available: <https://patentscope.wipo.int/search/en/deta>

*il.jsf?docId=W02009010600*

- [17] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL, *PATENT WO/2017/105168A1*,  
WIPO 22/06/ 2017

Consultat [En línea] Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/a0/7c/f7/f4ae20e58419ff/W02017105168A1.pdf>

- [18] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL, *PATENT WO/2008/103019A1*,  
WIPO 28/08/ 2008

Consultat [En línea] Available: <https://patentimages.storage.googleapis.com/23/15/ee/798cdcd8b578fc/W02008103019A1.pdf>

- [19] PATENTES Y MARCAS, *PATENT ES/2580979A2,27/06/2017*

Consultat [En línea] Available: <https://www.patentes-y-marcas.com/patente/silla-de-ruedas-electrica-p201530254>

- [20] PATENTS SCOPE, *PATENT WO/2009/010602*, WIPO 22/01/ 2009

Consultat [En línea] Available: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=W02009010602>

- [21] PRUSA KNOWLEDGE BASE, *Schlechtes Überbrücken*, 2020

Consultat [En línea] Available: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=W02009010602>

- [22] PIN SHAPE, *3D printed holes*, 2014

Consultat [En línea] Available: <https://pinshape.com/items/51555-3d-printed-quick-test-holes>

- [23] 3D WORKS, *Voladizos y soportes en la impresión 3D*, 2014

Consultat [En línea] Available: <https://www.3dworks.cl/post/voladizos-y-soportes-en-la-impresión-3d>

- [24] MINISTERI DE LA PRESIDÈNCIA, *Reial decret 1801/2003*, Boletín Oficial del Estado

Consultat [En línea] Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2004-511>

- [25] MARCAT CE, *Marcado CE*, AENOR  
Consultat [En línia] Available: <https://www.aenor.com/certificacion/marcado-ce>
- [26] UNIÓ EUROPEA, *Directives 2014/30/UE*, Boletín Oficial del Estado  
Consultat [En línia] Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2014-80623>
- [27] UNIÓ EUROPEA, *Directiva 2014/35/UE*, Boletín Oficial del Estado  
Consultat [En línia] Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2014-80628>
- [28] UNIÓ EUROPEA, *Directiva 2002/95/CE*, Diario Oficial de la Unión Europea  
Consultat [En línia] Available: <https://www.boe.es/doue/2003/037/L00019-00023.pdf>
- [29] UNIÓ EUROPEA, *Real Decreto 2019/2013*, Boletín Oficial del Estado  
Consultat [En línia] Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-3210>
- [30] NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA, *UNE-EN 62479 - 01/09/10*, UNE  
Consultat [En línia] Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0048209>
- [31] NORMALIZACIÓN ESPAÑOLA, *UNE-EN 61558-2-1 - 01/03/07*, UNE  
Consultat [En línia] Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/N0039706>
- [32] MINISTERI DE LA PRESIDÈNCIA, *Real Decreto 208/2005*, Boletín Oficial del Estado  
Consultat [En línia] Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2005-3242>
- [33] SOFIA VILLASUR, *¿Cuál es el precio de la luz hoy?*, Energia ROAMS  
Consultat [En línia] Available: <https://energia.roams.es/luz/precio-luz/>

- [34] ESTHER SILVÁN, *¿Qué es el impacto ambiental y como se mide?*, Mapfre  
15/10/2020  
Consultat [En línea] Available: <https://www.mapfre.com/actualidad/sostenibilidad/impacto-ambiental/>
- [35] GÓMEZ GONZALEZ, SERGIO, *Impresoras 3D*, Marcombo, 1a Edició, ISBN-10:  
8426723535, 288 pàgines, 2016  
Consultat 10/01/2022



## Annex

### Annex A: Verificació de l'adaptació del mecanisme als usuaris

#### Annex A.I

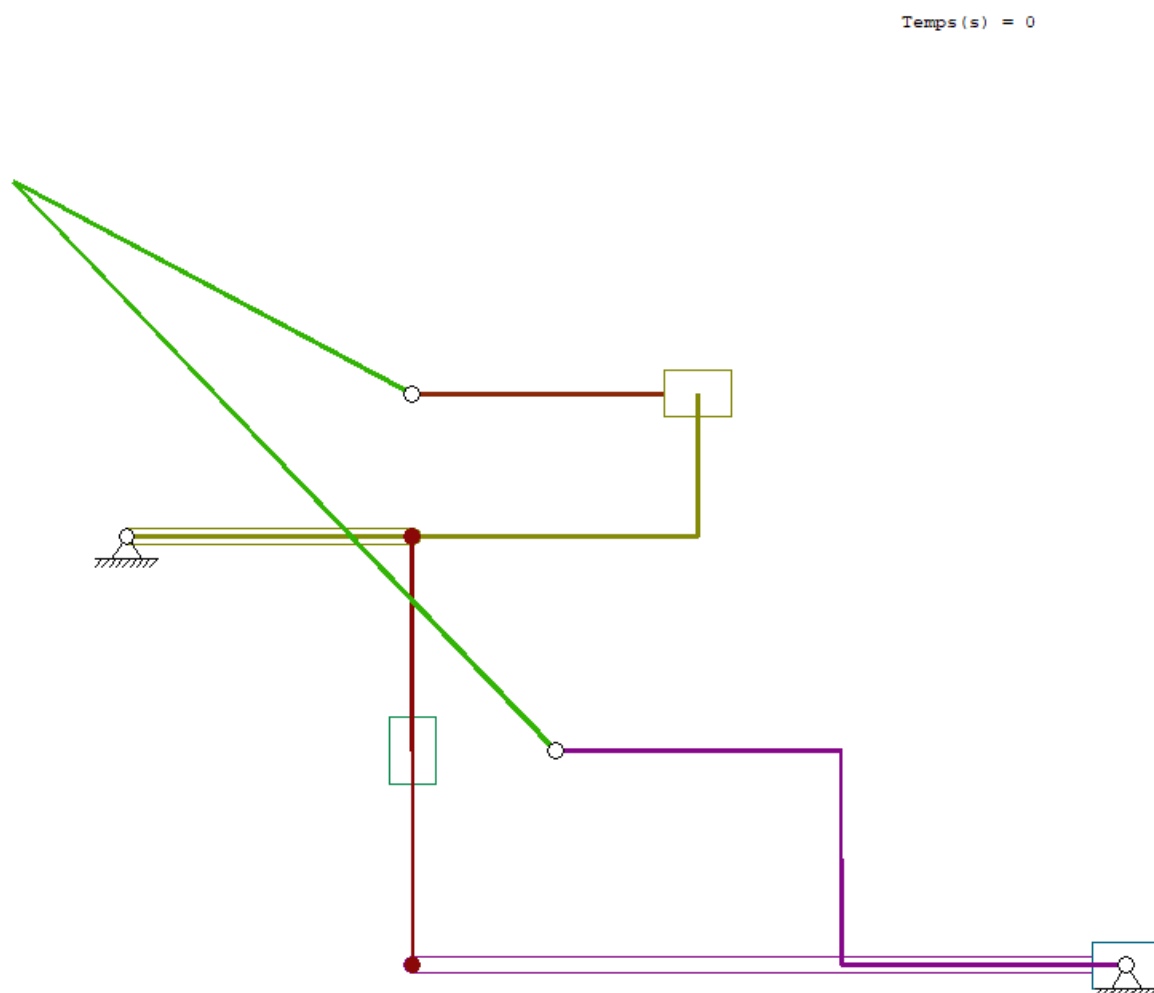


Figura 29: Mecanisme amb persona pel Moviment A. Inici. Font: Elaboració pròpia

Temps (s) = 0,8

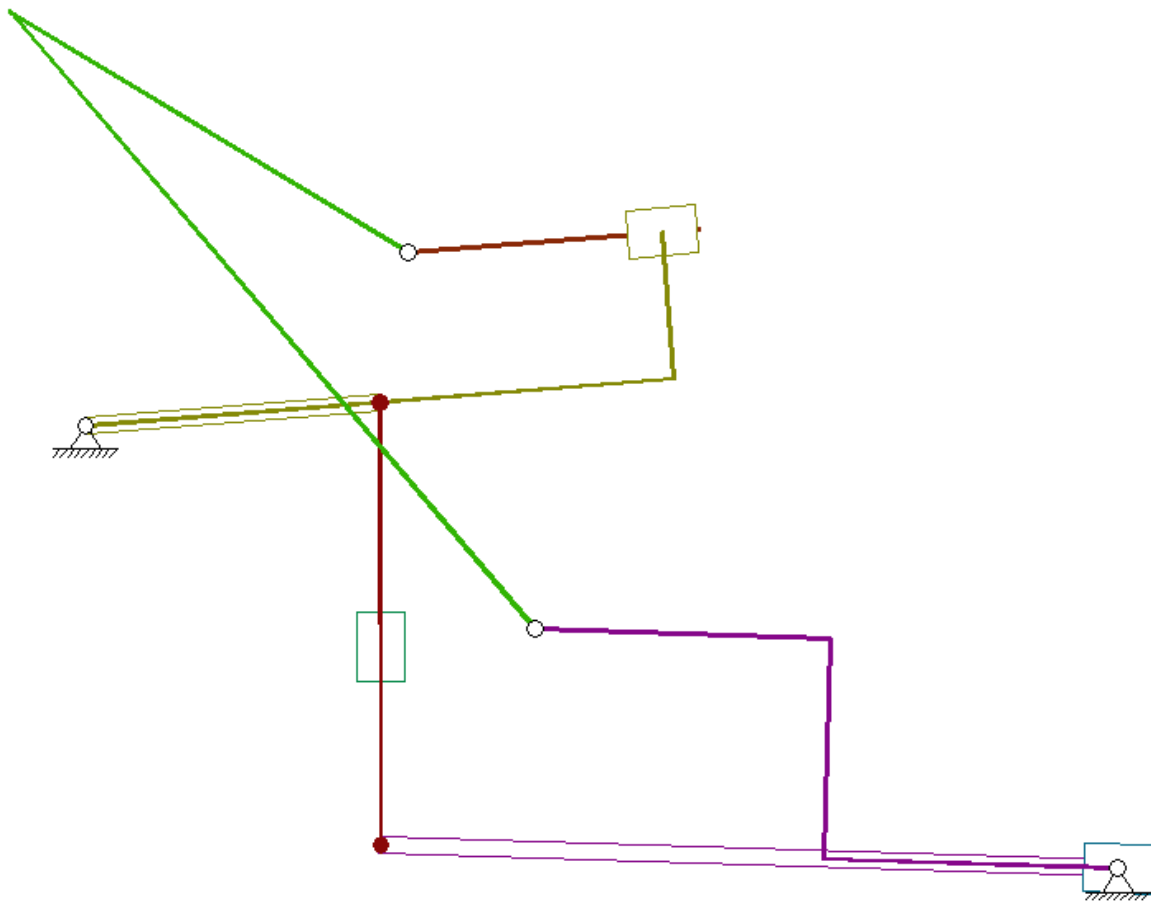


Figura 30: Mecanisme amb persona pel Moviment A. Final. Font: Elaboració pròpia

Com s'observa a la figura el braç de l'usuari és, en tot moment, paral·lel al reposa-braços.

Annex A.II

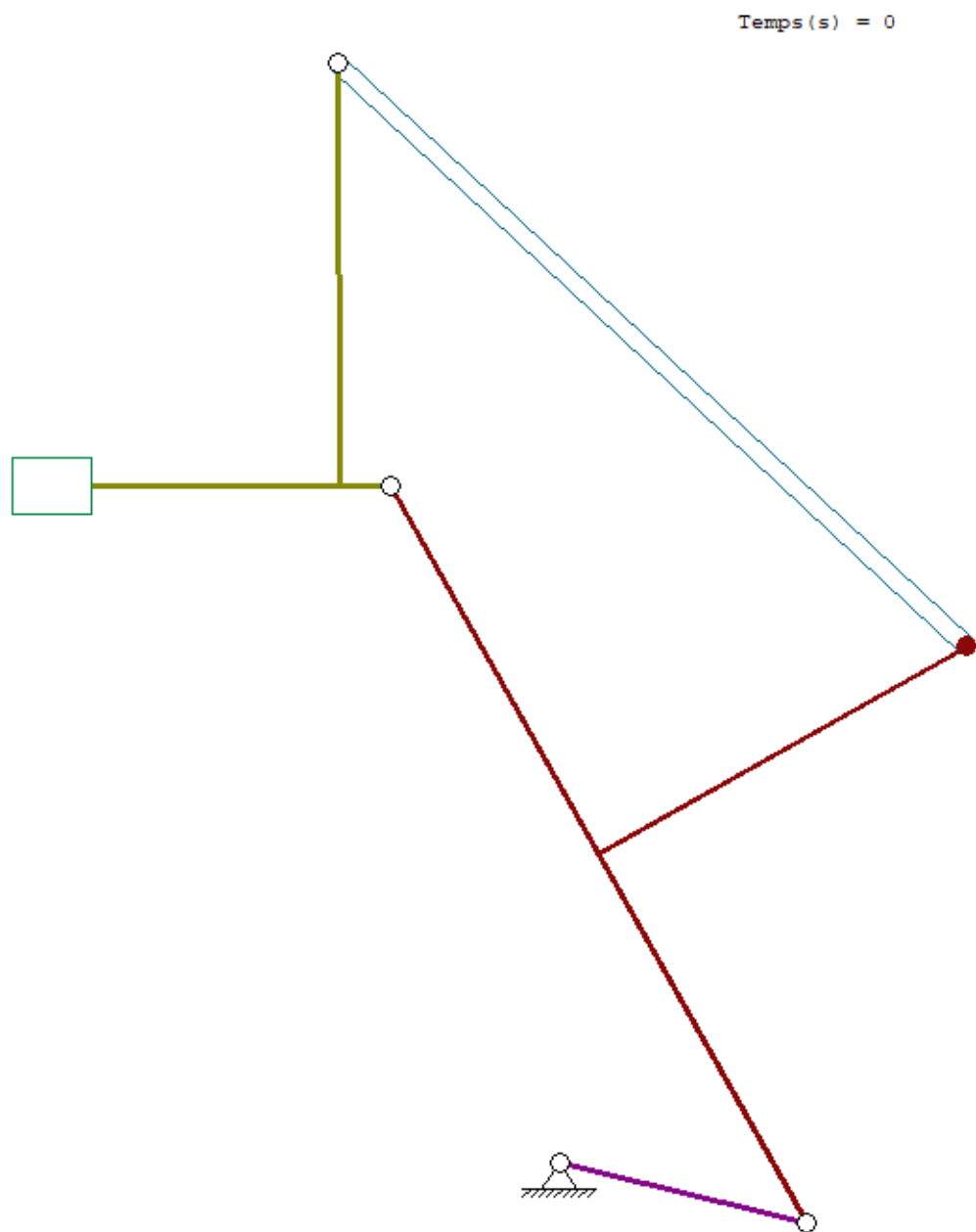


Figura 31: Mecanisme amb persona pel Moviment B. Inici. Font: Elaboració pròpia

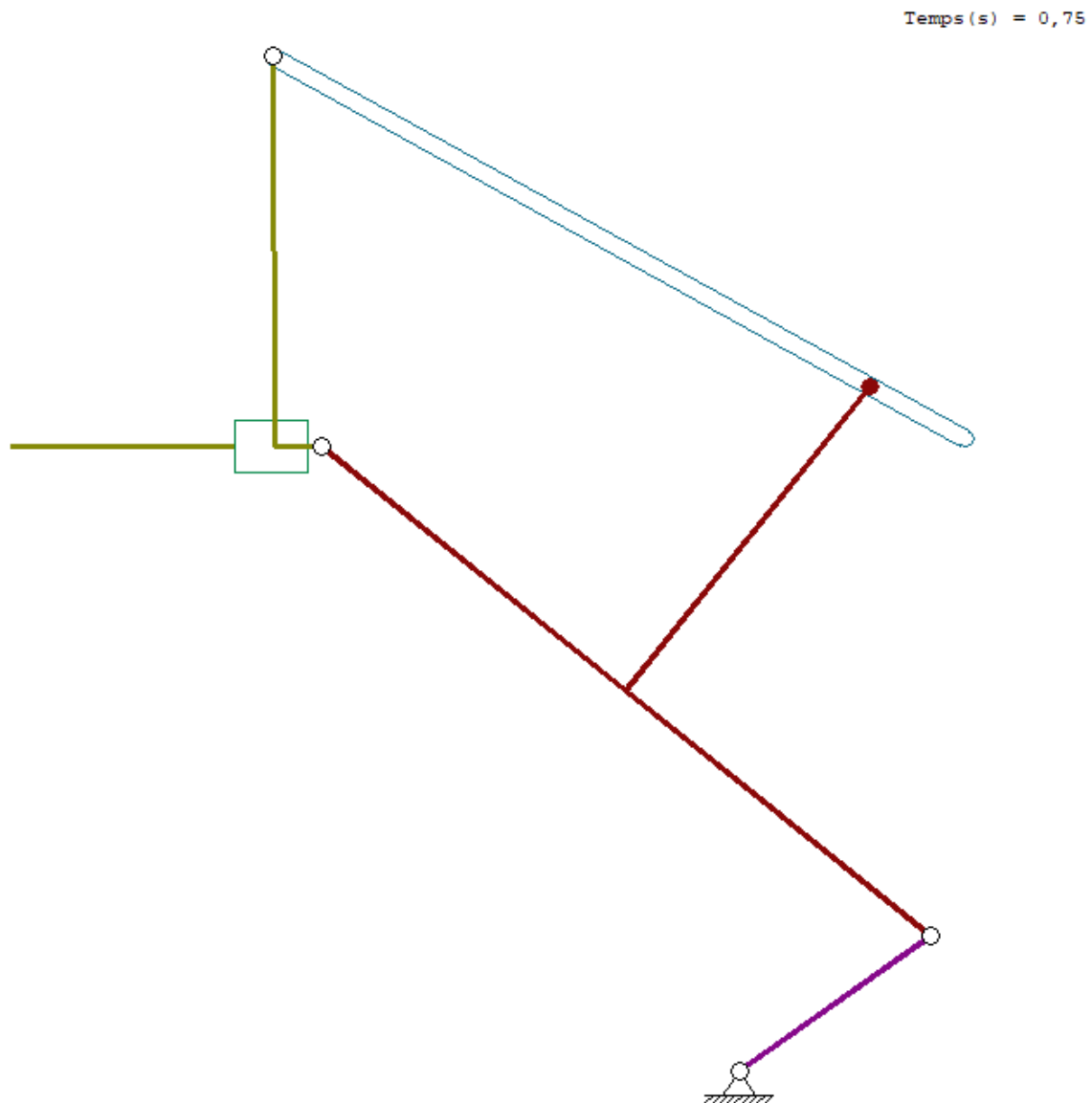


Figura 32: Mecanisme amb persona pel Moviment B. Final. Font: Elaboració pròpia

Com es pot veure a la figura, el mecanisme dissenyat permet que les articulacions posturals emprades per realitzar el moviment B i el genoll de l'usuari tinguin el mateix centre de rotació, amb el qual s'aconsegueix major comoditat.