

Universitat de Lleida

TREBALL FINAL DE GRAU



ESCOLA
POLITÈCNICA SUPERIOR
UNIVERSITAT DE LLEIDA
INSPIRING THE FUTURE

Estudiant: Roger Romagosa Vallès

Titulació: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol de Treball Final de Grau: Disseny de motorització per cadira de rodes manual per la Fundació Aremi

Director/a: Antoni Granollers, Miquel Nogués

Presentació

Mes: Setembre

Any: 2018

1. ÍNDEX GENERAL

1.	Índex General.....	1
2.	Índex d'equacions	3
3.	Índex de figures.....	3
4.	Memòria.....	6
4.1	Objectius.....	6
4.2	Abast.....	6
4.3	Antecedents	7
4.3.1	Associació Aremi	7
4.3.1.1	L'associació.....	7
4.3.1.2	Motivació del projecte	9
4.3.2	Estat de l'art	11
4.3.2.1	Ajudes al desplaçament convencionals.....	12
4.3.2.1.1	Tipus d'ajudes al desplaçament	12
4.3.2.1.2	Tipus de comandaments	16
4.3.2.1.2.1	Controls proporcionals.....	18
4.3.2.1.2.2	Controls no proporcionals.....	19
4.3.2.2	Cadires de rodes intel·ligents	21
4.3.2.2.1	Estructura.....	22
4.3.2.2.1.1	Estructura basada en cadires de rodes manuals	22
4.3.2.2.1.2	Estructura basada en cadira de rodes elèctrica	24
4.3.2.2.1.3	Cadira de rodes de nova construcció.....	25
4.3.2.3	Sensors	26
4.3.2.3.1	Encoder Òptic.....	26
4.3.2.3.2	Sensors d'orientació.....	27
4.3.2.3.3	Balises.....	28
4.3.2.3.4	GPS	28
4.3.2.3.5	Sensor de distància Time-of-flight	29
4.3.2.3.6	Sensors de triangulació	31
4.3.2.3.7	Sensors basats en efecte Doppler	32
4.3.2.3.8	Sensors basats en la visió.....	32
4.3.2.4	Operació	34
4.4	Disseny conceptual.....	35
4.5	Anàlisi de les necessitats del client	35
4.6	Anàlisi de requeriments.....	36
4.6.1	Estudi dels usuaris potencials	37
4.6.1.1	Patron Rehatom 4	37
4.6.1.2	Invacare Action 3 Junior Estàndard.....	38
4.6.1.3	Ottobock Kimba Neo	40
4.6.2	Rampa d'Accés al pati	41
4.6.3	Portes i espai interior	43
4.6.4	Manteniment i Seguretat.....	43
4.6.5	Emmagatzematge, transport i temps de muntatge.....	43
4.7	Estudi d'alternatives.....	45
4.7.1	Plataforma Completa (S1)	47

4.7.2	Mitja plataforma (S2)	49
4.7.3	Remolc articulat (S3)	51
4.7.4	Rodes de fricció (S4)	53
4.7.5	Fixació a les barres posteriors (S5)	54
4.7.6	Bloc (S6)	56
4.8	Definició d'especificacions	58
4.9	Càlculs preliminars	59
4.10	Esbós i disseny general	62
4.11	Anàlisi de solucions	63
4.11.1	Elecció Xassís i Fixacions	64
4.11.2	Elecció de les transmissions de forces	68
4.11.3	Elecció dels sensors	71
4.11.4	Elecció de la placa electrònica	72
4.11.5	Elecció de les bateries	73
4.12	Disseny Final	74
5.	Annexes	76
5.1	Càlculs d'esforços de les barres	76
5.1.1	Reaccions en la Invacare	76
5.1.2	Reaccions en la Ottobock – Rehatom	77
5.1.3	Càlcul d'esforços Invacare	78
5.1.3.1	Barra A (Invacare)	78
5.1.3.2	Barra B (Invacare)	81
5.1.3.3	Barra C (Invacare)	83
5.1.4	Càlcul d'esforços Rehatom	86
5.1.4.1	Barra A (Rehatom)	86
5.1.4.2	Barra B (Rehatom)	88
6.	Estat d'amidaments	90
7.	Plec de Condicions Tècniques	92
7.1	Condicions Tècniques i Especificacions dels Materials	92
7.1.1	Perfils normalitzats d'Alumini 6061 T6	92
7.1.2	Rosca remachable Ø4mm	93
7.1.3	Rosca remachable Ø5mm	93
7.1.4	Cargol M4 x 20mm	94
7.1.5	Cargol M5 x 25mm	94
7.1.6	Alumini	94
7.1.7	Roda Boja	95
7.1.8	Roda Motriu	95
7.1.9	Alumini 6082 T6	96
7.1.10	Politja de 24 i 16 dents	97
7.1.11	Motor Pas a Pas "MOTOR_PAP"	97
7.1.12	Corretja dentada	98
7.1.13	Driver del motor	98
7.1.14	Bateria	99
7.1.15	Coixinets	99
7.1.16	Latiguillo Mascle-Mascle RJ9	99
7.1.17	Interruptor ON/OFF Vermell	100
7.1.18	Interruptor ON/OFF Verd	100
7.1.19	Interruptor rotatiu 3 posicions	100
7.1.20	Boto d'emergència de cap rodó	100
7.1.21	Connector femella RJ11	100

7.1.22	Connector Jack 3,5mm	100
7.1.23	LED.....	100
7.1.24	Sensor d'ultrasons.....	101
8.	Pressupost	102
9.	Conclusions.....	104
10.	Treball futur.....	105
11.	Bibliografia	106
12.	Plànols.....	107

2. ÍNDEX D'EQUACIONS

Equació 4.3-1	29
Equació 4.3-2	31
Equació 4.3-3	32
Equació 4.11-1: Equacions que regeixen les fixacions i paràmetres finalment escollits.	65
Equació 4.11-2: Equacions que regeixen el criteri de seguretat estàtic.	66
Equació 4.11-3: Equacions que regeixen el criteri de seguretat en el xoc.....	67
Equació 4.11-4: Equacions que regeix la transmissió de força.	68
Equació 4.11-5: Equacions relatives al dimensionament del sistema politges-corretja.....	69
Equació 4.11-6: Equacions relatives al càlcul de la Inèrcia reduïda a la velocitat de la roda.....	70
Equació 4.11-7: Equacions relatives al dimensionament de les bateries.....	73

3. ÍNDEX DE FIGURES

Figura 4.3-1: Logo de l'associació exposada al seu web.....	7
Figura 4.3-2.....	13
Figura 4.3-3.....	13
Figura 4.3-4.....	14
Figura 4.3-5.....	14
Figura 4.3-6.....	14
Figura 4.3-7.....	15
Figura 4.3-8.....	15
Figura 4.3-9.....	16
Figura 4.3-10: Joystick tradicional, conté botonera per canvis de programa, encesa i apagada, control de llums, botzina i canvi de comandament de desplaçament a canvi postural.	18
Figura 4.3-11: Exemple de comandament per disc de polsadors.....	20
Figura 4.3-12: Exemple de motorització de cadira de rodes manual mitjançant substitució completa de rodes posteriors per roda amb motor integrat. Alber e-Fix.....	23
Figura 4.3-13: Exemple de motorització de cadira de rodes manual mitjançant substitució completa de rodes posteriors per roda amb roda dentada integrada. Detall del pinyó motoritzat i de la roda dentada conduïda. AAT MAX-E.	23
Figura 4.3-14: Smile drivedeck. Dispositiu d'aprenentatge amb operacions de seguiment de línies i anticol·lisió amb objecte. Consisteix amb una estructura de plataforma que carrega la cadira totalment.	24
Figura 4.3-15: Disseny de conjunt de la motorització d'una cadira de rodes manual mitjançant rodes en contacte amb les rodes posteriors.	24
Figura 4.3-16: Diagrama d'operació del maquinari del prototip NavChair.	25
- Figura 4.3-17: Bastidor d'alumini de la "Silla Exploradora Inteligente 1.0", s'observa, també, les rodes boges, les rodes motrius i els motors de corrent contínua.....	26
Figura 4.3-18: Encoder de quadratura en que podem veure les senyals dels dos encoders.	27
Figura 4.3-19: Exemple de sensor d'ultrasons on es pot observar la senyal de rellotge que dona ordre de disparar un conjunt d'ones. El diagrama "Eco" representa el sensor intern que detecta l'ona retornada. El diagrama "sortida del sensor" representa l'única sortida d'aquest sensor que dona senyal entre el temps d'emetre la ona i rebre la següent.	29
Figura 4.3-20: En aquest diagrama es pot veure un exemple de con de detecció eficaç d'un sensor d'ultrasons, on es pot veure els angles i les distàncies de detecció eficaç (tot el que queda dintre la línia gruixuda).	30
Figura 4.3-21: Esquema de funcionament del sensor TOF làser. El lapse de temps està representat mitjançant la distància entre les línies contínues i discontinues (Feix emès i feix transmès).....	31

Figura 4.3-22: Esquema dels principis de funcionament dels sensors de triangulació. Utilitzen les propietats geomètriques i considerant que la distància L és coneguda.	31
Figura 4.3-23: Exemple de reconeixement facial en càmera de CCTV. Utilitzades per registrar assistents en un centre de treball o per d'altres aplicacions.....	34
Figura 4.6-1: Fotografia de la cadira Patron 4 Rehatom.	37
Figura 4.6-2: Plànol de la cadira de rodes Patron Rehatom	38
Figura 4.6-3: Plànol de la cadira de rodes Invacare Action 3 Junior Estàndard.	38
Figura 4.6-4: Plànol de la cadira de rodes Invacare Action 3 Junior.	39
Figura 4.6-5: Plànol de la cadira de rodes Invacare Action 3 Junior.	39
Figura 4.6-6: Plànol de la cadira de rodes Ottobock Kimba Neo.	40
Figura 4.6-7: Plànol de la cadira de rodes Ottobock Kimba Neo.	40
Figura 4.6-8: Vista de perfil de la rampa d'accés al pati interior. Anotacions en mm.	41
Figura 4.6-9: Diagrama de l'aparell baixant per la rampa frontalment.	41
Figura 4.6-10: Diagrama de l'aparell baixant per la rampa transversalment.	41
Figura 4.6-11: Diagrama de la posició de l'aparell en el moment de baixada frontal de la rampa.	41
Figura 4.6-12: Diagrama del triangle escalè obtingut.	42
Figura 4.6-13: Diagrama de l'aparell. Rodes en gris fort, part inferior de l'aparell en gris fluix. L'àrea blava indica les zones amb interacció amb el terra. Per tant els baixos de l'aparell han d'estar almenys en la zona superior a l'àrea blava.	42
Figura 4.6-14: Altura mínima de les parts baixes de l'aparell respecte el terra, amplada entre rodes de 75cm.	42
Figura 4.7-1: Esbós de l'alternativa de disseny: "Plataforma completa".....	47
Figura 4.7-2: Esbós de l'alternativa de disseny: "Mitja Plataforma".	49
Figura 4.7-3: Esbós de l'alternativa de disseny: "Remolc Articulat".	51
Figura 4.7-4: Vista de detall de l'alternativa de disseny "Rodes de fricció".	53
Figura 4.7-5: Esbós de l'alternativa de disseny: "Rodes de fricció".	53
Figura 4.7-6: Vista de detall de l'alternativa de disseny "Fixació a les barres posteriors".	55
Figura 4.7-7: Esbós de l'alternativa de disseny: "Fixació a les barres posteriors".	55
Figura 4.7-8: Esbós de l'alternativa "Bloc".	56
Figura 4.9-1: Part posterior Patron Rehatom 4.	59
Figura 4.9-2: Part posterior Invacare Action 3 Junior estàndard.	59
Figura 4.9-3: Part posterior Ottobock Kimba Neo.	59
Figura 4.9-4: Part posterior Patron Rehatom 4.	59
Figura 4.9-5: Part posterior Ottobock Kimba Neo.	59
Figura 4.9-6: Part posterior Invacare Action 3 Junior estàndard.	60
Figura 4.9-7: Diagrama amplades interiors entre rodes (acotacions superiors) i d'amplades exteriors (acotacions exteriors). Diagrama base per al disseny dels allotjaments de les rodes.	60
Figura 4.9-8: Diagrama de la disposició dels pins d'allotjament.	60
Figura 4.9-9: Previsió de la disposició dels pins. I visualització de la fixació de la cadira de rodes Invacare.	60
Figura 4.9-10: Previsió de la disposició dels pins. Visualitzem la fixació de les cadires de rodes Rehatom i Ottobock.	60
Figura 4.9-11: Diagrama de l'espai disponible, vista posterior.	61
Figura 4.10-1: Vista posteriors del conjunt allotjament per la Invacare.	62
Figura 4.10-2: Vista posterior del conjunt, allotjament per la Rehatom.	62
Figura 4.10-3: Detall de l'aixecament de la roda en vista de perfil (Invacare).	62
Figura 4.10-4: Detall de l'aixecament de la roda en vista de perfil (Rehatom).	62
Figura 4.10-5: Composició bàsica del conjunt: 1.- allotjament Rehatom; 2.- allotjament Invacare; 3.- motor; 4.- bateria; 5.- driver del motor; 6.- espai considerat per l'electrònica i alimentació dels components.	62
Figura 4.11-1: Bastidor-Fixació de pins.	64
Figura 4.11-2: Bastidor mixt. És a dir, bastidor-fixació de pins d'allotjament per a la roda invacare i de fixació al bastidor per als models Ottobock i Rehatom.	64
Figura 4.11-3: Esquema dels paràmetres a tenir en compte per la construcció del bastidor 2.....	65
Figura 4.11-4: Esquema del càlcul de la distància entre pins "DEP" mínima per tal que s'obtingui seguretat estàtica en la rampa.	66
Figura 4.11-5: Posició de la cadira completament allotjada en els pins corresponents.	67
Figura 4.11-6: Posició de la cadira just a punt de sortir dels pins degut a un xoc en direcció cap endavant.	67
Figura 4.11-7: Diagrama dels elements de transmissió de forces, incloent la corretja entre les politges 1 i 2.	68
Figura 4.11-8: Esquema de força necessària en l'arrancada en la rampa.	68
Figura 4.11-9: Paràmetres de les corretges dentades analitzades. Fuspec: força específica de la dent. Mespec: Parell específic. Ful: Tensió màxima de la corretja. S'indiquen els paràmetres per les amplades més usuals.	68
Figura 4.11-10: Fotografia que mostra el perfil del dentat de la corretja dentada escollida.	69
Figura 4.11-11: Figura que mostra el conjunt de la cadira de rodes, en l'esquema simbolitzat com rectangle gris i els cons de detecció dels dos tipus de sensors analitzats. És considera vàlida la cobertura que eviti forats en tota l'amplada de la cadira a una distància d'1m.	71
Figura 4.11-12: Esquema de connexió amb placa electrònica arduino amb el mòdul de sensor d'ultra-sons HC-SR04.....	72
Figura 4.11-13: Esquema de connexió amb placa electrònica arduino amb el driver del motor i un motor bipolar.	72
Figura 4.11-14: Esquema de connexió amb placa electrònica arduino amb el mòdul del comandament a distància.	72
Figura 4.12-1: Visualització en 3D de la distribució interna de l'aparell.	74
Figura 4.12-2: Visualització en 3D de la fixació amb els models de cadira Rehatom i Ottobock.	75
Figura 4.12-3: Visualització en 3D de fixació amb les rodes de la cadira Invacare.	75
Figura 4.12-4: Visualització en 3D del disseny complet incloses les tapes exteriors de protecció exterior d'alumini.	75

<i>Figura 5.1-1: Reaccions amb l'aparell carregant la cadira de rodes Invacare. Les fletxes indiquen la direcció de les reaccions en el pla, les aspes simbolitzen reacció en direcció normal al pla i en sentit allunyant-se del lector i del pla, les rodones buides indiquen la mateixa direcció i sentit apropant-se al lector.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5.1-2: Esquema del conjunt de forces externes s'utilitza per calcular les reaccions amb la cadira Invacare muntada sobre l'aparell.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 5.1-3: Anàlisi estàtic de l'aparell per tal de calcular les reaccions normals. Es considera el 70% del pes total de la cadira recolzant-se sobre l'aparell i en pla. Es considera només el pes de les bateries i els controladors del motor.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5.1-4: Anàlisi estàtic de l'aparell per tal de calcular les reaccions normals. Es considera el 70% del pes total de la cadira recolzant-se sobre l'aparell i en pla. Es considera només el pes de les bateries i els controladors del motor.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5.1-5: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra A mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 5.1-6: Diagrama d'esforços de les forces horitzontals de la barra A mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5.1-7: Esquema del perfil utilitzat i dels punts on s'ha efectuat anàlisi de tensions equivalents de Von Misses.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 5.1-8: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra A més desfavorable considerat. El punt mig.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 5.1-9: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra B mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 5.1-10: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra B és desfavorable considerat. El punt de màxim parell.</i>	<i>82</i>
<i>Figura 5.1-11: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra C mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 5.1-12: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra C mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 5.1-13: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra C més desfavorable considerat. El punt on es troba el primer recolzament.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 5.1-14: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra A mentre la cadira Rehatom està muntada en l'aparell.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 5.1-15: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra A més desfavorable considerat. El punt mig.</i>	<i>87</i>
<i>Figura 5.1-16: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra B mentre la cadira Rehatom està muntada en l'aparell.</i>	<i>88</i>
<i>Figura 5.1-17: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra B més desfavorable considerat. El punt $x=0,27$ m.</i>	<i>89</i>

4. MEMÒRIA

4.1 Objectius

L'objectiu del present projecte és el d'obtenir un disseny de cadira de rodes motoritzada d'aprenentatge, apta per a usuaris amb diversitats funcionals i cognitives molt reduïdes.

El disseny és construirà i s'hi implementaran les funcionalitats bàsiques de funcionament per tal que en faci ús l'Associació Aremi (Associació de Rehabilitació del minusvàlid). Aquesta entitat està dedicada a l'atenció i suport a les persones amb necessitats especials, derivades de diversos trastorns, i disposa de diversos àmbits d'actuació com el de l'educació, ocupació terapèutica, rehabilitació, atenció a la salut, ús residencial o serveis d'orientació a les famílies, tutors o persones en contacte amb els usuaris finals.

4.2 Abast

Com s'ha comentat en l'apartat anterior, el present treball de final de grau obtindrà el disseny d'un prototip adaptat a les necessitats de l'associació i finalment és construirà, implementant, també funcionalitats bàsiques per tal d'acomplir els objectius proposats.

Des de l'inici del procés de disseny fins al final s'han anat efectuant reunions entre la UdL i Aremi, que han servit per presentar les intencions del projecte, anar a recollir informació, presentar planificacions de treball, obtenir informació per intentar resoldre problemes, per tal que el disseny obtingut realment sigui adaptat a les necessitats d'Aremi.

La construcció però quedarà fora de l'abast del treball, es preveu la seva construcció immediatament després de la fase de disseny.

4.3 Antecedents

4.3.1 Associació Aremi

4.3.1.1 L'associació



Figura 4.3-1: Logo de l'associació exposada al seu web.

Aremi (Associació de Rehabilitació del Minusvàlid) és una associació privada sense ànim de lucre declarada d'Utilitat Pública pel Consell de Ministres el 2 d'octubre de 1981. La seva activitat es concentra al territori de les comarques de Lleida i té com finalitat l'atenció i el suport a les persones amb necessitats especials, derivades de trastorns en la motricitat, la comunicació, la autonomia i el control de l'entorn, al llarg de totes les etapes de la vida, pel seu desenvolupament personal i social i la millora de la qualitat de vida des d'una perspectiva habilitadora i inclusiva. En concret aquestes finalitats es concentren en:

- Proporcionar ajuts i recolzament en els diferents àmbits d'actuació: educació, ocupació terapèutica, rehabilitació, atenció a la salut, ús residencial, ...
- Foment i pràctica d'activitats físico-esportives, lúdiques i recreatives.
- Potenciar l'autonomia personal, millorar l'accessibilitat, afavorir i promoure la intervenció comunitària i la inserció social i laboral.
- Protegir i defensar els drets individuals i socials a més de vetllar per garantir l'exercici d'aquests drets.
- En general qualsevol activitat que pugui millorar la qualitat de vida de les persones amb necessitats especials.

Els serveis de l'Associació són els següents:

- **Centre d'Educació (C/ Mestre Tonet s/n 25003 Lleida):** La intervenció educativa, basada en la diversitat, s'adequa a les necessitats educatives de cada alumne i al seu nivell de desenvolupament. Cada alumne/a disposa d'un currículum personalitzat i té un mestre-tutor que conjuntament amb la resta de professionals que l'atenen (educador,

logopeda, fisioterapeuta, infermera i treballadora social) configuren l'equip de treball de referència. El Claustre de professionals és un equip que treballa de forma interdisciplinari des d'una perspectiva habilitadora, proporcionant a l'alumne els recursos que precisa i habilitant-li l'entorn per dur a terme els aprenentatges.

- **Centre Ocupacional (C/ Mestre Tonet s/n 25003 Lleida):** El Centre Ocupacional es distribueix en sis sales. En totes elles es presenta una dinàmica d'acord amb els interessos de cada persona i el seu perfil, sempre respectant i potenciant al màxim el mitjà de comunicació que cada un d'ells utilitza. Les sales estan dedicades a les següents dinàmiques:
 - Sala 1: Estimulació Cognitiva.
 - Sala 2: Estimulació Global i Multi sensorial.
 - Sala 3: Espai d'art creatiu on els usuaris poden adonar-se i gaudir de l'esforç que representa el seu treball diari i resultat obtingut. Es fomenta el treball en equip, la capacitat de decisió i l'autoestima i l'adquisició d'uns hàbits laborals d'una forma inclusiva.
 - Sala 4: Activitat enfocada a potenciar l'opinió dels nois i noies sobre l'actualitat del món que els envolta des de la reflexió i amb capacitat de crítica i de síntesi.
 - Sala 5: Espai destinat a proporcionar eines inclusives d'ocupació amb l'objectiu d'adquirir els mitjans necessaris per al desenvolupament personal, tècnic i de tipus prelaboral en el disseny gràfic i en l'edició de vídeos.
 - Sala 6: Estimulació Global i Multi sensorial.
- **Residència (C/ Garraf 17 25005 Lleida):** L'objectiu bàsic és subministrar als usuaris un entorn substitutiu de la llar tot tenint en compte les necessitats de creixement i assoliment d'objectius així com els d'àmbit de la rehabilitació o mèdics. Actualment la capacitat màxima és de 26 persones amb discapacitat física motòrica. Aquest servei va en consonància amb l'objectiu bàsic de l'associació i ofereix serveis a les persones en contacte amb l'usuari així com acompanyaments als serveis externs necessaris per tenir una bona qualitat de vida (vistes mèdiques, podologia, perruqueria, activitats socials...).
- **Centre per a l'Autonomia Personal "SIRIUS - AREMI" (C/ Garraf 17 25005 Lleida):** Servei dedicat a l'orientació a les persones que ho demanen respecte als productes existents al mercat que ajuden a portar un vida diària còmoda, així com assessorament tècnic i/o adequació al client dels mateixos. Paral·lelament es dona informació relativa a la normativa vigent respecte a la obligatorietat d'adaptació dels espais.

- **Serveis Generals:** Assessorament general de tipus rehabilitador-mèdic, disponibilitat de lleure, assessorament a les famílies i recolzament...
- **Club Esportiu AREMI:** Ofereix serveis d'esports als membres que ho demanin. Actualment treballen i practiquen Eslàlom, Boccia i Atletisme.

4.3.1.2 Motivació del projecte

L'Objectiu del projecte consisteix en la creació d'un recurs que proporcioni aprenentatge espacial i de causalitat als usuaris de l'Aremi. És a dir que aprenguin que poden interaccionar amb aparells que els desplacin per un espai conegut, que experimentin sensacions relatives al desplaçament autodeterminat com l'acceleració, inclinacions variables.. etc.

Lligant aquest aspecte amb l'apartat anterior, l'objectiu del projecte és la de proporcionar un recurs que avanci en l'autodeterminació i per tant que proporcioni aprenentatges que facilitin les seves aptituds per entendre i variar l'entorn que els envolta i en definitiva que millori la seva qualitat de vida i tinguin més recursos per afrontar reptes de la vida quotidiana.

Segons diu Rafael Martínez de Carnero García, en el seu treball d'investigació sense publicar: "Autonomia autodeterminacion y discapacidad":

"En forma de resum podríem dir que perquè una persona actuï de forma autònoma o autodeterminada es requereix:

- *Un context que generi suficients oportunitats perquè les persones amb discapacitat desenvolupin les competències necessàries per sentir-se com agents causals de la seva pròpia acció.*
- *Fomentar habilitats d'autoregulació de forma que la persona amb discapacitat generi per si sola una autoavaluació, auto monitorització y auto reforç de la seva acció sobre l'entorn.*
- *Afavorir y motivar a les persones amb discapacitat perquè optin a millors nivells d'autoconsciència y autoconeixement."*

En el cas dels infants, és molt important que es vagi aprenent a interaccionar amb l'espai a l'edat en que ho poden fer cognitivament. Segons diu Natalie Carden, de la fundació per a la investigació per a la Paràlisi Cerebral d'Austràlia:

"En el desarrollo de la movilidad, los niños se mueven en su entorno, exploran objetos, aprenden probando cosas, mediante ensayo y error averiguan cómo un objeto actúa cuando lo tocan, deslizan, empujan, aprietan, lo dejan caer o lo pisan.

Esta exploración ayuda a construir habilidades cognitivas, como, por ejemplo, la memoria, la resolución de problemas, la toma de decisiones y la planificación de movimientos. Las habilidades perceptivas son las habilidades que nos ayudan a interpretar la información de los sentidos, como las que usamos para calcular la distancia al suelo o la que hay entre dos objetos. También son las habilidades que utilizamos para percibir que nuestros miembros están en el espacio y la forma de operar dispositivos como un joystick o un interruptor sin mirarlo. Los niños que no tienen movilidad pueden haber tenido limitada la oportunidad de explorar y conocer el entorno de primera mano. Sin estas oportunidades, sus habilidades no se pueden desarrollar al mismo ritmo que en sus compañeros con más movilidad. La investigación ha demostrado que los niños inmóviles están menos interesados en el movimiento, ya que no lo tienen, lo que se puede llamar indefensión aprendida. Es recomendable implementar alguna forma de movilidad por iniciativa propia a la edad en la que el niño desarrolla normalmente su propia movilidad.”

El pròxim pas en aquest projecte, seria la creació o modificació del present projecte per tal que els usuaris puguin efectuar tasques senzilles com dur objectes d'un lloc a l'altre, que es puguin desplaçar entre dos espais coneguts i puguin desplegar les aptituds anteriorment descrites, tenint en compte la variabilitat de capacitats, interessos i coneixements.

Per tal de justificar i acotar l'abast de l'apartat següent, i ja en la primera reunió de contacte amb l'Associació Aremi, es va demanar un prototip d'aparell que pogués desplaçar als usuaris d'Aremi per l'espai de l'associació sense que l'usuari hagués de renunciar a la configuració de posicionament postural de la seva cadira. Per tant el prototip haurà de ser un aparell acoblable als diferents tipus de cadira de rodes manuals proposades pel client.

4.3.2 Estat de l'art

El present projecte forma part del grup de solucions tècniques conegudes com ajudes a la mobilitat que integra qualsevol producte que ajudi a efectuar les tasques pròpies de la vida quotidiana a persones amb mobilitat reduïda com anar al lavabo, menjar, fer esport, socialitzar-se o desplaçar-se.

En el present projecte ens interessen les solucions que ajudin al desplaçament a usuaris amb diverses condicions mèdiques però que en la totalitat són incapaços d'utilitzar una cadira de rodes elèctrica convencional amb control amb joystick ja sigui per diversitats funcionals cognitives com físiques.

En l'anterior apartat s'explica que el prototip haurà de ser acoblable a diferents models de cadira de rodes i que haurà de ser adequat a les seves aptituds cognitives i físiques, per tant, el següent recull d'antecedents queda acotat a solucions actualment al mercat o prototips que a criteri de l'estudiant són interessants i creen la suficient base tècnica per defensar, triar i adoptar les solucions tècniques més adequades al present projecte. És a dir:

- 1. Projectes de desplaçament autònom amb baixa exigència de mobilitat o d'aptituds de l'usuari.
- 2. Projectes de propulsió, motorització, modificació de cadires de rodes manuals o elèctriques, projectes de desplaçament adaptat de baix cost.
- 3. Articles o literatura científica en general relativa a solucions de mobilitat per persones amb discapacitats.

4.3.2.1 Ajudes al desplaçament convencionals

S'entén com ajuda al desplaçament qualsevol dispositiu que ajudi a usuaris al correcte desplaçament, permetent que dugui a terme les activitats de la vida diària sense entrebancs i minimitzant el risc de lesions i/o potenciant que és rehabiliti de forma satisfactòria.

En aquest apartat es pretén oferir un recull de les opcions de desplaçament convencionals, és a dir consolidades al mercat i a preus on l'usuari mitjà hi pot accedir fàcilment.

4.3.2.1.1 Tipus d'ajudes al desplaçament

Segons el que s'ha trobat en la literatura hi ha tres aspectes importants a l'hora de triar l'ajuda al desplaçament més adient per l'usuari:

- **Propulsió:** S'ha de tenir en compte quins moviments podrà dur a terme l'usuari, quines mobilitats té en les extremitats i si finalment, serà capaç d'autopropulsar-se de forma contínua o pel contrari no podrà dur a terme la propulsió per si sol. Cal destacar que hi haurà casos entremitjos en que, per exemple, l'usuari podrà propulsar-se en pla horitzontal, però serà incapaç d'aguantar físicament la propulsió en una pujada llarga. En aquesta categoria podem trobar els següents tipus de propulsions:
 - Propulsió i direcció efectuada per l'assistent.
 - Propulsió i direcció efectuada per l'usuari manualment: Com en la d'una cadira de rodes manual amb cercles de propulsió on l'usuari és capaç de propulsar-se i girar.
 - Propulsió elèctrica amb direcció manual: Com en productes d'ajuda a la propulsió per a l'usuari. L'usuari disposa de propulsió elèctrica però no de direcció.
 - Propulsió i direcció totalment elèctrica: Com en la d'una cadira de rodes elèctrica convencional.
- **Postura:** Cal adequar-se a les necessitats de canvi de postura que l'usuari requereixi ja que en cas que hi hagi una cadira de rodes (per exemple) que no permeti cap canvi postural, totes les activitats diàries seran suplertes per l'ajuda d'assistents o dispositius especialitats per dur a terme les tasques, amb tota la incomoditat per l'usuari i els assistents que això comporta.

- Comandament:** Dispositiu que interacciona amb l'usuari per tal de controlar la direcció, la velocitat, controls posturals... Cal que sigui adequat a les possibilitats de l'usuari per tal de maximitzar el control que l'usuari tingui amb l'entorn i la seva postura per que sigui el més autònom possible.

Respecte al conjunt de solucions d'ajudes al desplaçament hi ha les següents categories:

<p>1. Scooter elèctric:</p>  <p><i>Figura 4.3-2</i></p>	<p>Representa una bona opció per una persona que camina però que no té la força o la resistència per desplaçar-se conforme les seves necessitats.</p> <p>El seu cost és menor que el d'una cadira de rodes elèctrica.</p> <p>El comandament de control consisteix bàsicament en un manillar.</p> <p>No disposa, normalment, de control postural.</p> <p>Té un radi de gir gran, la maniobra és pesada i no permet fer res més que desplaçar-se, és a dir no permet ni menjar, ni beure, ni llegir ni escriure sobre el dispositiu.</p>
<p>2. Motors d'ajuda a la propulsió:</p>  <p><i>Figura 4.3-3</i></p>	<p>Cadira que consisteix en dos rodes que tenen un motor i un sensor de força que s'aplica al cercle de propulsió, l'aparell alimenta els motors de les rodes proporcionalment a la força que s'aplica a cada cercle de propulsió, i per tant, permet maniobrar i desplaçar-se amb l'ajuda elèctrica.</p> <p>El seu preu és major que el d'una cadira elèctrica convencional, en canvi les prestacions de potència i autonomia a preus similars són molt menors.</p> <p>Per tant representa una solució molt atractiva per usuaris amb impossibilitat de mantenir l'esforç que suposa la propulsió de forma continuada, però poden efectuar cognitivament i físicament els moviments que imposa l'aparell.</p>

<p>3. Motors per a cadira bimanual:</p>	<p>Consisteix en dos rodes que disposen de cremalleres i d'un mòdul que conté els motors, les bateries i l'electrònica necessària que s'acobla a la part posterior de la cadira. Disposa normalment d'un joystick però permet altres opcions de comandament.</p> <p>El preu supera el preu d'una cadira de rodes elèctrica convencional amb les mateixes prestacions d'autonomia i potència.</p>
 <p><i>Figura 4.3-4</i></p>	<p>4. Motor elèctric d'ajuda a l'assistent:</p> <p>Consisteix en un sol motor alimentat per bateries que es col·loca a la part posterior de la cadira de rodes, es desmunta sense eines.</p> <p>Ajuda en la propulsió mentre l'assistent propulsa i dirigeix la direcció de la cadira de rodes.</p> <p>El preu és molt menor que el d'una cadira de rodes elèctrica convencional.</p>
 <p><i>Figura 4.3-5</i></p>	<p>5. Segway adaptat:</p> <p>Segway modificat comandat mitjançant la inclinació del tronc tant pel control de la velocitat com per la direcció de l'aparell.</p> <p>Les avantatges són la millor conducció en terreny irregular i l'elevada maniobrabilitat en espais molt reduïts.</p> <p>Són molt més cars que les cadires de rodes elèctriques a iguals prestacions.</p> <p>Cal destacar que l'usuari que haurà de comandar l'aparell haurà de tenir un control motor molt elevat del tronc del seu cos.</p>
 <p><i>Figura 4.3-6</i></p>	

6. Handbike Elèctric:



Figura 4.3-7

Consisteix en un accessori que s'acobra a la part davantera d'una cadira de rodes manual. El comandament s'efectua mitjançant un manillar.

Es comporta correctament tant en terreny pla com en terrenys irregulars.

És molt fàcilment muntable i desmuntable per tant no molesta en moments en que no s'utilitza o s'ha d'acostar la cadira de rodes manual a una taula per, per exemple, menjar, beure, llegir...

7. Aparell de tipus remolc:



Figura 4.3-8

Consisteix en un motor elèctric i una roda bidireccional (permet rodament en les dos direccions del pla vertical). Bàsicament, és una ajuda a la propulsió, ja que la direcció de l'aparell l'efectua l'usuari frenant o donant propulsió a alguna de les dues rodes. És més cara que una cadira de rodes elèctrica convencional.

8. Cadires de Rodes Elèctriques:



Figura 4.3-9

Engloba tot el conjunt de solucions tècniques que consisteixen en cadires de rodes amb propulsió i direcció elèctrica i que estan integrades des de bon inici.

Ofereixen nombroses opcions de postura, elevació del seient, modificació de postura per part de l'usuari, integració de la cadira amb control de l'entorn domèstic: persianes, televisor, ordinador...

A nivell d'interfície amb l'usuari són les que ofereixen més variabilitat d'interacció, ja sigui amb commutadors, amb joystick, amb comandament per bufada, per moviment del cap, per moviments dels ulls... etc

Tots aquests elements poden ser programables per permetre que l'usuari interaccioni amb la cadira en la mesura que pot per moviment, força, sensibilitat, i poden permetre conducció mitjançant seqüències amb un sol polsador.

4.3.2.1.2 Tipus de comandaments

Per comandar una cadira de rodes és vital aconseguir una postura de sedestació, és a dir que l'usuari es pugui mantenir assentat de forma autònoma i que tots els elements posturals de la cadira com reposapeus o els reposacaps afavoreixin una postura estable, rehabilitadora i que intenti potenciar que l'usuari sigui capaç d'eliminar moviments involuntaris i potenciar moviments voluntaris amb les extremitats que siguin més convenientes per al comandament de la cadira. Una adequada sedestació ha de complir els següents requisits:

- Aconseguir que l'usuari estigui còmode.
- Normalitzar el to muscular i disminuir els moviments reflexes anormals.
- Promoure postures simètriques i estables.
- Millorar la funció respiratòria.
- Millorar l'abast visual i la percepció en general.
- Promoure l'estabilitat proximal per desenvolupar moviments distals.
- Proporcionar un bon repartiment de les pressions sobre el cos de l'usuari per tal de minimitzar el risc d'úlceres.
- Proporcionar a l'usuari una informació propioceptiva correcta. És a dir que el cos integri la informació de posició moviment, inclinació, de forma el màxim natural possible.

Un cop s'ha aconseguit la postura més adequada tenint en compte els criteris anteriors, s'ha d'efectuar un anàlisi de les capacitats globals i de la part del cos més eficaç per comandar la cadira. Es valoren els següents paràmetres:

- **Capacitat visual i perceptiva:** És important que la intensitat i el camp visual siguin suficients per efectuar un bon control de la cadira.
- **Audició:** Si existeix deficiència auditiva caldrà reforçar els estímuls que rep l'usuari per tal de que pugui ser prou conscient en intensitat i en camp de percepció.
- **Funcions Cognitives:** Les dificultats de caràcter intel·lectual poden o no anar acompanyades de problemes d'orientació espacial i d'atenció, per tant caldrà analitzar el cas i actuar en conseqüència.

Un altre aspecte a tenir en compte és l'edat de l'usuari, no existeix una edat clarament marcada que faci apte un usuari per conduir una cadira. En aquest sentit existeix una gran variabilitat en l'edat en que poden comandar correctament una cadira de rodes elèctrica.

- **Moviment involuntari:** Cal tenir en compte els patrons de moviments reflexos. Pot ser que al moure una extremitat l'usuari en mogui una altra de forma reflexa. Per tant, caldrà triar la part del cos més adequada i inhibir en la mesura del possible els moviments involuntaris.
- **Moviment voluntari:** És el necessari per comandar una cadira de rodes elèctrica, cal valorar paràmetres com la força, l'amplitud en el moviment, la precisió i la fatiga en cada extremitat.
- **Sensibilitat:** Caldrà analitzar també, la sensibilitat que és te en cada part del cos. És a dir la noció de la posició exacta o de sí s'ha premut o no un botó. I conjuntament tenir-ho en compte.

Existeixen dos grans grups de comandaments per cadires de rodes:

- **Controls Proporcional:** En són exemples el Joystick o el control per un dit. Com més es desplaça la mà des del punt de partida més ràpid avança la cadira. La cadira es desplaça (direcció i velocitat) en el sentit que la condueix la mà.
- **Controls no proporcional:** En són exemples els polsadors de pressió, de contacte o de proximitat. La longitud o distància del desplaçament no controla la velocitat de la cadira, per tant, la velocitat i l'acceleració s'han de programar.

Cal tenir en compte en quins suports s'utilitzen els següents tipus de comandament, ja que tenen un pes important en la comoditat que acabarà tenint l'usuari.

4.3.2.1.2.1 Controls proporcionals

S'han descrit anteriorment s'introduiran alguns exemples:

- **Joystick:** Disposa de palanca de comandament proporcional i diversos interruptors per encesa i pagada, indicadors de carrega de la bateria o controls de velocitat. Aquest últim permet tenir guardats diferents programacions d'acceleracions i velocitat per utilitzar-los de forma flexible tot a adequant-se a les necessitats en cada moment que ho decideix l'usuari. Poden incloure comandament sobre canvis de postura, com inclinació del conjunt o de parts de la cadira o del recolzament, elevar el seient... etc.

Tenen nombrosos acabats de la palanca com acabat en bola, con, L o T segons li sigui més senzill a l'usuari.

Aquest dispositiu s'ha de col·locar on l'usuari tingui l'amplitud suficient per tal de comandar correctament la cadira. Es pot col·locar sobre una taula sobre les cames, en el reposabraços o recolzat en un braç articulat.

Esta dissenyar per utilitzar per comandar-lo amb la mà, més endavant s'indicaran les seves variants.



Figura 4.3-10: Joystick tradicional, conté botonera per canvis de programa, encesa i apagada, control de llums, botzina i canvi de comandament de desplaçament a canvi postural.

- **Joystick per un dit:** Similar al producte anterior, el comandament s'efectua solament amb un dit.
- **Joystick sensible:** Apte per usuaris que disposen de poca amplitud de moviment però que per contra tenen una gran sensibilitat i motricitat fina. Requereix de molt poca força per accionar-lo. Pot ser col·locat per comandar-lo amb diferents parts del cos.

- **Mini-Joystick Estanc:** Dissenyat per comandar-lo amb la boca, la barbeta o la mà, requereix de molt poca força per comandar-lo.
- **Comandament de dit:** Consisteix en un comandament que s'opera amb un dit que s'introdueix en un orifici i funciona de forma similar a un joystick. Normalment, requereixen de proteccions en cas d'utilitzar la cadira en espais exteriors (amb possibilitat de pluja o humitat).
- **Touchpad:** Funcionament similar a l'anterior. La cadira és comandada amb un dit de forma similar al ratolí d'un ordinador portàtil.
- **Magitek:** Control proporcional format per un sensor d'inclinació que es fica normalment al cap però que es pot instal·lar en d'altres extremitats. Normalment es fixa mitjançant una diadema o similar i condueix la cadira inclinant el cap o l'extremitat triada.

4.3.2.1.2.2 Controls no proporcionals

S'han explicat anteriorment, i a continuació es mostren alguns exemples:

- **Joystick Reforçat:** Funciona amb vuit microinterruptors col·locats en les 4 direccions possibles i les 4 direccions entremitjos. No es considera control proporcional ja que és utilitzable per persones que no tenen prou control fi suficient per accionar un joystick proporcional i el podrien fer malbé. Aparentment molt semblant al joystick tradicional.
- **Mini joystick sensible no proporcional:** És un joystick molt sensible similar a l'anterior però només conté quatre microinterruptors amb les quatre direccions del moviment. Es pot utilitzar amb la mà, la barbeta o altres parts del cos. Conté, també, interruptor d'encesa i apagada a la part superior de la palanca.
- **Safata de polsadors:** Safata que conté diferents polsadors amb les diferents direccions del moviment. El seu ús és molt intuïtiu. La seva variant és el disc de polsadors, que consisteix en un disc d'uns 5cm de diàmetre que conté els polsadors i pot permetre programacions i comandaments diferents.



Figura 4.3-11: Exemple de comandament per disc de polsadors.

- **Polsador únic:** Comandament de la cadira que consisteix en un únic polsador i una pantalla de visualització. L'usuari interacciona amb les diferents comandes de la cadira (endavant, enrere, diagonals, canvi de programa...) mitjançant escombrats d'opcions. A nivell teòric permet molts ajustos diferents, temps de resposta o configuracions seqüencials diferents. És adequat per usuaris cognitivament molt capaços però que, per contra, no tenen aptituds per comandar controls més intuïtius que requereixen d'amplitud de moviment o força molt més exigents.
- **Sensors de proximitat:** Normalment utilitzat per comandament amb el cap. Consisteix en tres sensors de proximitat col·locats en un reposacaps. L'usuari disposa d'aquests sensors i de polsadors exteriors per tal d'eleger les direccions de marxa o canvis de programa. El principal problema és que l'usuari no podrà utilitzar normalment el reposa caps i pot ésser un inconvenient per tal de mantenir una sedestació correcta.
- **Aspiració i bufada:** S'ha inclòs en el present apartat de comandaments no proporcionals però teòricament s'hi podria aplicar un control proporcional. Un exemple del funcionament del comandament:

Bufada amb força: Cap endavant.

Aspiració amb força: Cap enrere.

Bufada suau: Dreta.

Aspiració suau: Esquerra.

4.3.2.2 *Cadires de rodes intel·ligents*

Es pot definir les cadires de rodes intel·ligents com cadires de rodes que poden interaccionar amb l'usuari de formes diferents a les convencionals o que poden recollir informació de l'entorn i actuar en conseqüència.

És obvi que les persones que poden utilitzar una cadira de rodes elèctrica de forma correcta no requereixen d'una tecnologia que permeti que la cadira de rodes pugui desplaçar a l'usuari de forma autònoma. És en casos de persones amb problemes de visió, amb reducció de camp visual, espasticitat, tremolors, dèficits cognitius i d'altres col·lectius que usualment requereixen d'un assistent que els desplaça de forma manual per els espais per fer les diferents activitats quotidianes, els que requereixen d'un sistema de desplaçament amb requeriments de capacitats globals inferiors a les opcions de desplaçament tradicional.

Per tant es pot categoritzar les cadires robòtiques en com esta conformada la seva estructura:

- **Cadires robòtiques basades en cadires de rodes manuals.**
- **Cadires robòtiques basades en cadires de rodes elèctriques.**
- **Cadires robòtiques de nova construcció.**

Les funcions usuals poden ser les d'evitar obstacles, passar per portes o anar d'un lloc a un altre (els dos predeterminats) de forma autònoma.

Aquest tipus de categoria necessita de sensors per tal de poder executar dos tasques bàsicament:

- **1. Interaccionar amb l'usuari.**
- **2. Recollir informació de l'entorn.**

Pel que fa a la interacció amb l'usuari es troben els següents tipus de sensors:

- **Mètodes tradicionals:** Descrits en apartats anteriors.
- **Reconeixement de veu:** Molt usuals degut al baix cost i l'ampli ventall d'opcions de maquinari existent en aquest camp.
- **Detecció del camp de visió:** Mitjançant Electrooculografia.
- **Reconeixement gràfic:** Mitjançant reconeixement d'imatge és pot comandar una cadira mitjançant el moviment del cap, o de l'expressió facial.

- **BCI:** Brain-computer interface. Sistemes que permeten la comunicació a temps real entre l'activitat elèctrica del cervell i un ordinador.

Pel que fa a la recollida de dades de l'entorn trobem els següents exemples:

- **Sensors de xoc:** Consisteix, bàsicament, en un interruptor. Quan la cadira xoca amb un objecte o paret es tanca o obre un circuit elèctric.
- **Sensor de distància:** Sensors capaços de mesurar la distància entre un objecte i el sensor.
- **Sensor GPS:** Sensors capaços de detectar la posició i orientació del mateix.
- **Visió per ordinador:** Sensors que consisteixen, bàsicament, en una càmera i un microprocessador. Són capaços de seguir línies o confeccionar un mapa a temps real de l'espai on és mouen.

4.3.2.2.1 Estructura

Pel que fa a l'estructura de les cadires de rodes robòtiques, s'ha resumit anteriorment les principals formes de disseny. A continuació s'entrarà en detall a descriure les tres categories.

4.3.2.2.1.1 Estructura basada en cadires de rodes manuals

Són les cadires de rodes robòtiques que necessitaran de tot el conjunt d'emmagatzematge i transformació d'energia elèctrica, tots els actuadors necessaris i també tots els sensors, controladors i interfície amb l'usuari necessària.

Segons s'ha vist en la literatura es troben els següents mètodes d'adaptació de cadira de rodes manual:

1. **Substitució de les rodes posteriors per d'altres modificades.**

Aquesta opció consisteix en substituir completament les rodes posteriors per rodes modificades que poden engranar o portar integrades els motors necessaris per dur a terme l'operació.



Figura 4.3-12: Exemple de motorització de cadira de rodes manual mitjançant substitució completa de rodes posteriors per roda amb motor integrat. Alber e-Fix.



Figura 4.3-13: Exemple de motorització de cadira de rodes manual mitjançant substitució completa de rodes posteriors per roda amb roda dentada integrada. Detall del pinyó motoritzat i de la roda dentada conduïda. AAT MAX-E.

2. Plataforma motoritzada on es puja la cadira de rodes manual.

Consisteix en una plataforma amb tots els dispositius necessaris per tal de motoritzar una cadira de rodes manual. Normalment requereixen de plataforma externa per tal de carregar la cadira de rodes manual a la plataforma.



Figura 4.3-14: Smile drivedeck. Dispositiu d'aprenentatge amb operacions de seguiment de línies i anticol·lisió amb objecte. Consisteix amb una estructura de plataforma que carrega la cadira totalment.

3. Mitjançant rodes motoritzades en contacte amb les rodes posteriors.

Consisteix en dues rodes motoritzades que entren en contacte amb les rodes posteriors d'una cadira de rodes manual. El contacte ha d'estar a pressió suficient per tal de aconseguir fricció per tal de aconseguir el moviment solidari de la roda motoritzada i la roda posterior de la cadira de rodes manual.



Figura 4.3-15: Disseny de conjunt de la motorització d'una cadira de rodes manual mitjançant rodes en contacte amb les rodes posteriors.

4.3.2.2.1.2 Estructura basada en cadira de rodes elèctrica.

Aquest tipus de solució aprofita l'estructura d'una cadira de rodes elèctrica i substitueix total o parcialment la interfície amb l'usuari per un sistema de sensors i microcontroladors. Modificant una cadira de rodes elèctrica caldrà fer una mica d'enginyeria inversa per detectar com es

comunica el maquinari entre si i modificar o substituir entrades i sortides del mateix per tal d'incloure més funcions a una cadira de rodes elèctrica.

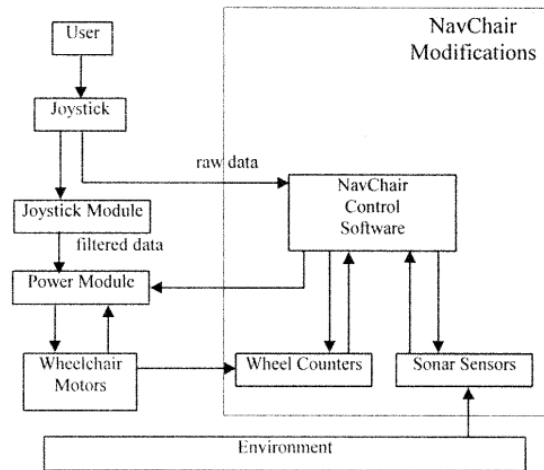


Figura 4.3-16: Diagrama d'operació del maquinari del prototip NavChair.

4.3.2.2.1.3 Cadira de rodes de nova construcció

Aquest grup inclou totes aquelles solucions que requereixen d'un disseny complet de cadira de rodes, dels seus actuadors, controladors, sensors i microcontroladors.

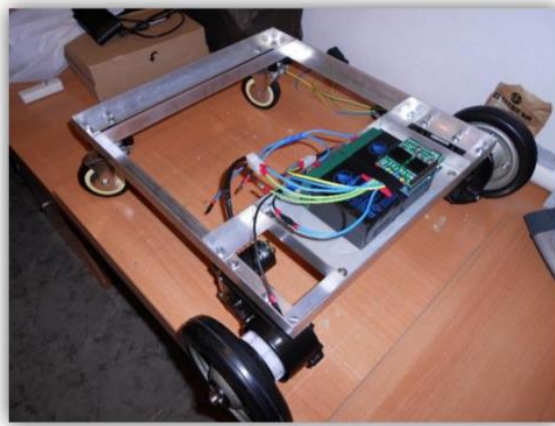
4.3.2.2.1.3.1 "Silla Exploradora Inteligente 1.0"

És un cadira de rodes creada sota la filosofia de baix cost, sota llicència Creative Commons, per tal que qualsevol entitat petita pugui reproduir les unitats que vulgui sense pagar patents de cap tipus. Està pensada per infants de fins a 6 anys amb greus dificultats de moviment, per tal que puguin experimentar relacions causa-efecte i moviment autònom. Ha servit de punt de partida al present projecte ja que a nivell de funcionalitats és un projecte molt similar al present.

La idea del projecte és generar una plataforma motoritzada de quatre rodes, dos (les davanteres) són boges, mentre que les posteriors són motrius i solidàries cada una a un motor elèctric. De forma que cada entitat pugui utilitzar la experiència per adaptar aquesta plataforma als seus requeriments.

L'entitat Aremi va adjuntar el document que explica pas per pas la construcció de la plataforma però s'ha optat per utilitzar un disseny completament nou pels següents motius:

- Aquesta plataforma conté una cadireta pediàtrica fixada a la plataforma de fusta fixada sobre el xassís d'alumini. Per tant, no permet posicions de sedestació adequades a cada infant.
- No permet que la plataforma motoritzi cadires de rodes manuals.



- *Figura 4.3-17: Bastidor d'alumini de la "Silla Exploradora Inteligente 1.0", s'observa, també, les rodes boges, les rodes motrius i els motors de corrent contínua.*

Els anteriors motius van impulsar en la primera reunió entre la UdL i la'Associació Aremi de perfeccionar aquest disseny i aconseguir un prototip molt més adapta a les necessitats de l'asociació.

4.3.2.3 Sensors

Formalment, es troben els següents tipus de sensors:

- **Propioceptius:** Mesuren paràmetres interns del robot (velocitat del motor, càrrega de les rodes, angles entre parts del mateix robot, voltatge de la bateria...
- **Exteroceptius:** Mesuren paràmetres externs al límits del robot com distància a un objecte extern o intensitat de la llum.
- **Actius:** Emeten energia a l'ambient i posteriorment detecten la reacció al bolcat d'aquesta energia a l'ambient. Aquesta categorització té el risc d'afectar a les mateixes característiques del sistema que es vol mesurar o que la senyal mesurada es vegi afectada per d'interferència d'aquesta energia bolcada al sistema.
- **Passius:** A diferència de la categoria anterior mesuren energia del sistema.

4.3.2.3.1 Encoder Òptic

Àmpliament utilitzats per mesurar la velocitat angular d'eixos o rodes. Consisteixen en una font de llum que emet un cert nombre de polsos en cada volta completa de l'encoder. Físicament consisteix en una font de llum i un disc amb una malla opaca que s'interposa de forma intermitent entre un receptor de llum. La resolució és mesurada per cicles per revolució (al voltant de 2000).

Una tècnica àmpliament utilitzada és la quadratura d'encoders, que consisteix en un mateix encoder comercial que inclou dos encoders iguals però desfasats en la forma que es mostra en la Figura 4.3-18.

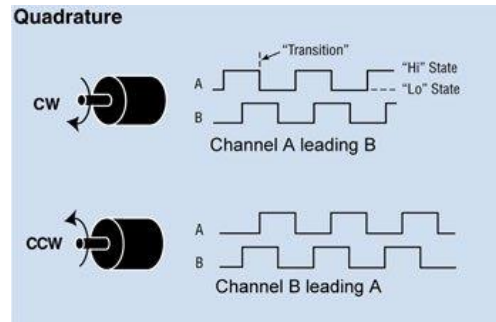


Figura 4.3-18: Encoder de quadratura en que podem veure les senyals dels dos encoders.

Amb aquesta tècnica/producte comercial s'aconsegueixen els següents quatre estats:

Estats	Canal A	Canal B
E_1	high	low
E_2	high	high
E_3	low	high
E_4	low	low

Taula 1: Estats possibles d'un encoder de quadratura.

Per tant, aconseguirem quadruplicar la resolució respecte a la configuració amb un únic encoder convencional, i al mateix temps permet identificar el sentit de rotació.

4.3.2.3.2 Sensors d'orientació

Sensors capaços de determinar l'orientació i inclinació del robot. Són sensors molt interessants per integrar conjuntament amb els encoders ja que es podrà aproximar la ruta que haurà seguit el robot. Pertany a la categoria de sensors propioceptius. A continuació s'indiquen les variants més habituals:

Brúixola: Actualment aquesta mesura l'efectuen sensors d'efecte Hall. Els primers es basen en el comportament d'un potencial elèctric en un semiconductor en presència de potencial magnètic. El signe i el potencial generat (en funció de l'orientació del semiconductor amb les línies de flux magnètic) són capaços de donar una lectura del paràmetre d'orientació respecte els eixos cardinals.

Aquesta categoria són pocs utilitzats a causa de la seva susceptibilitat a les vibracions o a la mala gestió de les interferències provocada per camps magnètics.

Giroscopi Mecànic: Basat en les propietats de la inèrcia retinguda en un rotor girant a alta velocitat. Aquesta propietat es coneguda com precessió giroscòpica, que descriu com un giroscopi tendeix a mantenir l'eix del giroscopi inicialment estable. Com inconvenients cal indicar que aquest sistema pateix les pèrdues per fricció en els rodaments i conseqüentment, els errors transmesos al llarg del temps de lectura.

Giroscopi Òptic: Consisteix en dos bobines de cable de fibra òptica (d'aproximadament 5km d longitud) enrotllades de forma concèntrica, degut a l'efecte Sagnac, oferint una rotació al conjunt de les bobines, el raig que viatja en sentit contrari al moviment experimenta un camí més curt que l'altre. Aquestes diferències d'arribades són mesurables i fonamenten la base de funcionament d'aquest sensor.

4.3.2.3.3 Balises

Sensor capaç de determinar la posició del sensor detectant les distàncies entre vàries balises col·locades en rang de desplaçament del robot. Entenent quines són les distàncies entre les balises, és pot determinar la posició del robot. Un exemple d'aplicació amb gran inversió pot posicionar un robot amb uns 5cm d'error dintre d'un sistema de kilòmetres de diàmetre.

4.3.2.3.4 GPS

Acrònim de *global positioning system*. Desenvolupat inicialment per ús militar, actualment gratuïtament disponible per ús civil. Aquest sistema és basa en la interacció del sensor amb 24 possibles satèl·lits efectuant una òrbita cada 12h a 20.190 km d'altura. Cada satèl·lit emet un pols d'energia mesurable pel sensor, així, la diferència de temps d'arribada de les diverses senyals rebudes des dels diversos satèl·lits a l'abast permeten el posicionament amb un error usual de 15m.

Aquest sensor, combinat amb una balisa de terra, que ofereix una correcció eficaç de temps, permet un error usual d'1m. Com a requeriment, cal col·locar un balisa, posicionada de forma molt precisa, a l'abast del robot per tal de maximitzar la inversió i minimitzar l'error usual. Aquest mètode és conegut com GPS diferencial.

Com a limitant estructural cal comentar que l'actualització del pols del satèl·lit s'efectua cada 200 ms, per tant no es podrà esperar una freqüència de refresc inferior 5Hz, totalment insuficient per aplicacions en robòtica que requereixin de desplaçaments a velocitats mitjanes.

4.3.2.3.5 Sensor de distància Time-of-flight

Aquesta categoria de sensors disposen d'un emissor d'ones sonores o electromagnètiques i d'un receptor d'aquestes. El sensor emet una ona i l'entorn la reflexa, el temps de diferència entre l'emissió i la recepció és mesurable i forma la base teòrica d'aquest tipus de sensors.

Sensor d'ultrasons

Es basa en el principi anteriorment descrit. La distància entre un objecte i aquest sensor es regeix per:

$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$

Equació 4.3-1

$$c = \sqrt{\gamma RT}$$

On:

d= distància entre l'objecte i el sensor.

c= velocitat del so.

t= temps entre emissió i recepció de l'ona.

γ = coeficient de dilatació adiabàtica.

R= constant del gas.

T= temperatura en Kelvin.

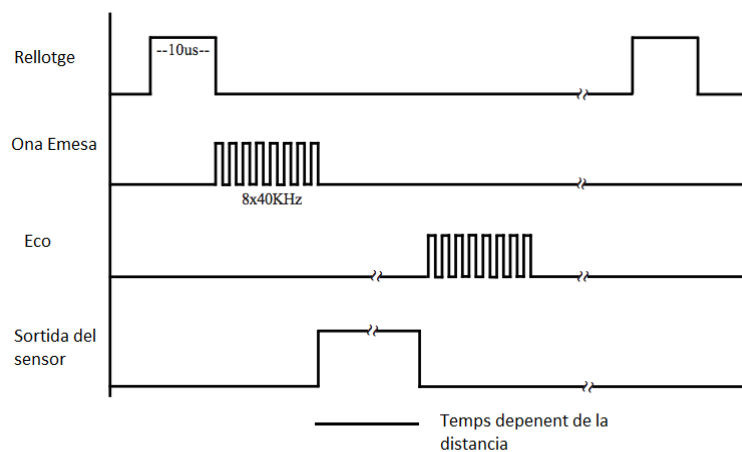


Figura 4.3-19: Exemple de sensor d'ultrasons on es pot observar la senyal de rellotge que dona ordre de disparar un conjunt d'ones. El diagrama "Eco" representa el sensor intern que detecta l'ona retornada. El diagrama "sortida del sensor" representa l'única sortida d'aquest sensor que dona senyal entre el temps d'emetre la ona i rebre la següent.

En l'anterior la Figura 4.3-19 es pot intuir que si oposem el sensor a un objecte molt pròxim, potser s'estarà emetent l'ona però alhora rebent senyal. Per tant, aquest tipus de sensor tenen un rang inoperatiu en que és impossible la lectura.

Aquest tipus de sensor tenen usualment un rang de lectura d'entre 0,12 i 5 m, la precisió dels models comercials assoleix entre un 98,1 i un 99,1%. Cal destacar els dos grans problemes d'aquest tipus de sensor que són el con de detecció efectiva, la zona prohibida del sensor, i la freqüència màxima de refresc. Aquest últim paràmetre va en funció de la distància a mesurar (i per tant el temps de retorn) que serà més gran a mesura que és vulgui mesures de distàncies més llargues.

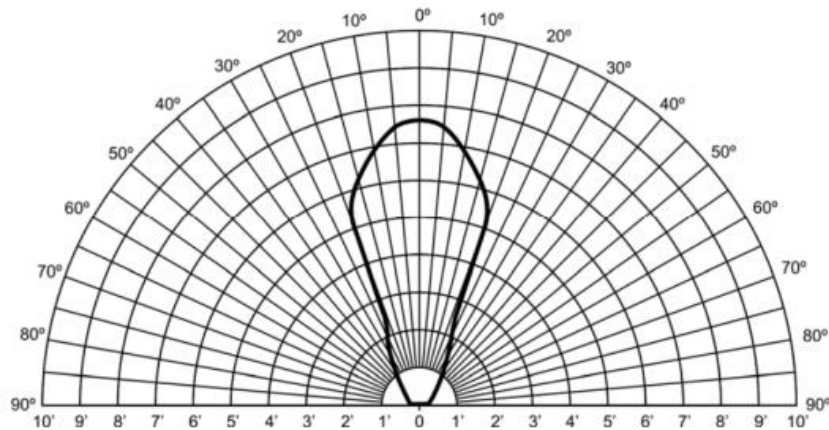


Figura 4.3-20: En aquest diagrama es pot veure un exemple de con de detecció efectiva d'un sensor d'ultrasons, on es pot veure els angles i les distàncies de detecció efectiva (tot el que queda dintre la línia gruixuda).

Sensor làser

Com s'ha comentat anteriorment funciona pel mateix principi que el sensor anterior però l'ona que utilitza és una ona de tipus electromagnètica. Representen una alternativa interessant com en els exemples comercials de tipus LIDAR, consistents en un sensor com el descrit fet girar de forma que pugui detectar tots els sentis de detecció i conformar un mapa esfèric de distàncies al sensor.

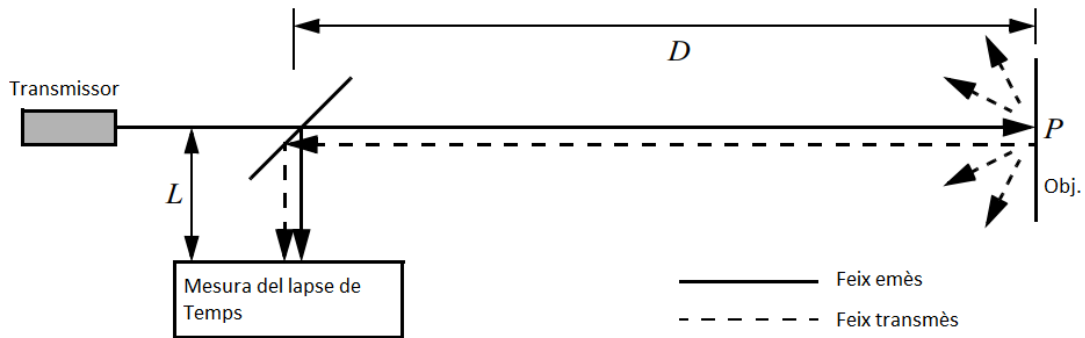


Figura 4.3-21: Esquema de funcionament del sensor TOF làser. El lapse de temps està representat mitjançant la distància entre les línies contínues i discontinues (Feix emès i feix transmès).

4.3.2.3.6 Sensors de triangulació

Consisteixen en un làser, una lent i una retina de recepció, els tres objectes formen part del sensor i per tant les posicions relatives són conegudes:

$$\frac{L}{D} = \frac{x}{f} \quad \text{Equació 4.3-2}$$

On:

f= distància perpendicular entra la retina de recepció i la sortida del làser.

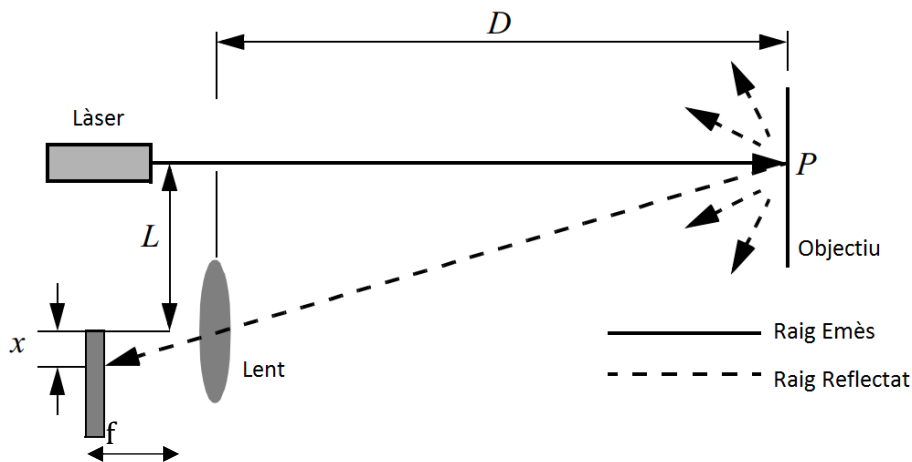


Figura 4.3-22: Esquema dels principis de funcionament dels sensors de triangulació. Utilitzen les propietats geomètriques i considerant que la distància L és coneguda.

Cal destacar que aquest tipus de sensor tenen la limitació de resolució i precisió en la distància entre la retina i la lent. Usualment a mateix preu, ofereixen rangs de mesura inferiors al sonar però amb una precisió molt major. Existeixen sensors en el mateix principi però que a diferència d'aquest últim és substitueix un làser per un dispositiu que pugui emetre un feix estructurat de

llum i la retina de recepció es substitueix per una retina sensible en dos eixos de detecció. Per tant és pot obtenir les distàncies no només en un punt sinó en un con de detecció similar al sensor d'ultrasons.

4.3.2.3.7 Sensors basats en efecte Doppler

Aquests sensors es basen en l'efecte Doppler per tal de detectar la velocitat relativa entre el sensor i un objecte proper. Consisteixen en un emissor d'ones electromagnètiques o sonores i un receptor capaç de mesurar la freqüència de les ones rebotades. D'aquesta forma són capaços de fer lectura de la velocitat relativa entre sensor i objecte proper.

L'efecte Doppler, si el transmissor s'està movent i el receptor està quiet, es regeix per les següents equacions:

$$f = \left(\frac{1}{1 + \frac{v}{c}} \right) f_0 \quad \text{Equació 4.3-3}$$

On:

f= freqüència percebuda pel sensor.

c= velocitat de propagació de l'ona pel medi.

v= velocitat relativa entre l'emissor i el receptor.

f₀= freqüència emesa.

Comercialment existeixen sensors de sonar o també d'ones de microones, comercialment s'utilitzen pels equips de camions. Tenen un rang d'uns 150m, una precisió del 97% i un rang de fins a 160km/h. Com a màxim, comercialment, es pot trobar una freqüència de refresc del fins a 2Hz.

4.3.2.3.8 Sensors basats en la visió

En aquest sentit existeixen gran varietat de sensors amb aplicacions tant variades com les que ofereixen les pròpies del tractament d'imatge. Per tal d'entendre el funcionament i aplicacions d'aquests sensors s'explicarà, primer, els tipus de circuiteria en que es basen:

- **Tecnologia CCD:** "charged coupled Device". El chip CCD consisteix en una matriu d'elements sensibles a la llum entre 0,2 i 20 milions. Un cop els sensors ja han efectuat la lectura, aquesta s'hauria de congelar i emmagatzemar. En aquest tipus de chip l'emmagatzematge s'efectua per ordre de matriu. Bàsicament aquest mètode requereix

de construccions especialitzades del chip i, en conseqüència, de costos de fabricacions de planta o estructurals de les empreses molt majors, el que augmenta el preu de venda. Aquesta aproximació no permetria registrar una imatge en color sinó només valors d'intensitat de llum rebuda. El que permet el registre d'una foto en color és l'agrupació de cada captador de llum en una matriu de quatre píxels que permeten filtrar un color concret (dos pel verd, un pel vermell i un pel blau). Aquest mètode òbviament redueix la resolució de la imatge en un factor de quatre disposant del mateix espai.

- **Tecnologia CMOS:** "*complementary metal oxide semiconductor*". La diferència entre la primera categoria i la segona és que, bàsicament, la mesura i amplificació de la senyal de cada píxel es fa paral·lelament amb una electrònica per cada píxel.

Comparant les dos tecnologies:

Avantatges respecte la tecnologia alternativa	
CCD	CMOS
<i>Més píxels disponibles al mateix espai.</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Major velocitat de ràfega. - Menor Preu. - Menor consum d'energia. - Millor comportament davant el blooming (saturació del píxel per excés de llum i que afecta als píxels contigus).

Taula 2: Resum d'avantatges i inconvenient de les dos tecnologies existents relatives a les càmeres.

Les funcions d'aquests sensors són les pròpies del reconeixement d'imatge. En el ventall que, prioritàriament interessin per aquest treball, trobem sensors amb microprocessador incorporat, capaços de detectar el contorn d'un objecte mitjançant un màxim i mínim de color. Mitjançant algorismes s'agrupen aquest píxels del mateix color i és troba el contorn de l'objecte i el seu centre visual.

A nivell teòric un sensor de visió, i mitjançant varies imatges podrien ser capaços de detectar la distància en cada punt de visió de la càmera. Tot i això, en l'aplicació del treball no es troben sensors comercials capaços, i amb els requeriments de volum i pes necessaris.

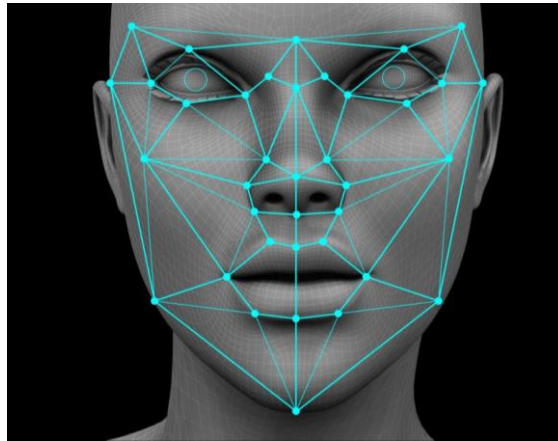


Figura 4.3-23: Exemple de reconeixement facial en càmera de CCTV. Utilitzades per registrar assistents en un centre de treball o per d'altres aplicacions.

4.3.2.4 Operació

Bàsicament trobem tres tipus de robots:

- **Operats:** Requereixen de control humà per operar correctament. P. E robots teleoperats utilitzats en cirurgia.
- **Automàtics:** Efectuen tasques pre-programades en entorns controlats de forma repetitiva.
- **Autònoms:** Efectuen tasques en entorns no controlats i efectuen les seves pròpies decisions en funció de l'objectiu donat.

4.4 Disseny conceptual

A partir de les diverses reunions efectuades, el disseny va adreçat a tres usuaris potencials. Tots ells disposen de cadires de rodes manuals pediàtriques i voldrien poder poguessin realitzar moviment semi autònoms sempre dintre l'espai interior de l'Aremi i el pati interior.

Es preveu un ús sempre vigilat per educadors o qualsevol altre personal del centre, que en tot moment estigui format per interpretar si l'usuari està còmode i, en cas contrari, interrompi el moviment immediatament i atengui les necessitats de l'usuari de forma correcta.

4.5 Anàlisi de les necessitats del client

Segons les diverses reunions efectuades, Aremi ha manifestat la voluntat d'obtenir un disseny amb els següents requeriments funcionals:

- **Acotació de les cadires compatibles:** El disseny ha de ser compatible i ha de ser capaç de motoritzar els tres models de cadira de rodes manuals existents a l'Aremi. De bon principi s'aposta per motoritzar cadires de rodes manuals per tal de respectar les necessitats posturals i de comoditat dels usuaris.
- **Velocitat Variable:** El disseny haurà de tenir diferents velocitats de cara a que s'adeqüi aquesta a la disposició/voluntat de l'usuari o dels diferents espais en que s'utilitzi el disseny.
- **Acceleració variable:** El disseny haurà de tenir una arrancada suau. Des de la UdL es diu que això no representa cap problema i que es un problema trivial de programació. No es preveu cap problema a que aquesta s'adeqüi als requeriments dels usuaris.
- **Modes de conducció:** Es demanda que el disseny en la fase 1 tingui tres modes de conducció i que en un futur (no en el present treball de final de grau) pugui efectuar recorreguts programats:
 - o **Mode 1:** Mode en que l'usuari prem un botó i el disseny efectua 5 segons de moviment autònom tipus roomba.
 - o **Mode 2:** Mode en que el disseny efectua conducció com l'anterior mode (només) mentre s'està prement un botó.
 - o **Mode 3:** La conducció no s'efectua de forma autònoma sinó que l'educador condueix la cadira des de darrere.
- **Recorregut programat:** El disseny va d'un punt conegut i pugui anar a diferents recorreguts programats: fins a la cuina, fins al menjador, fins a l'aula...

- **Panell posterior:** S'acaba acordant que el disseny tingui a darrere un botó de seguretat que bloquegi totalment la cadira en cas que l'usuari estigui indisposat, aquest hauria d'estar poc accessible per l'usuari i ha de ser visualment poc destacat.
- **Interacció amb l'usuari:** S'efectua mitjançant un braç articulat i un polsador existent en l'associació.
- **Seguretat:** El disseny ha d'evitar les col·lisions, les caigudes a diferents nivells i incorporar el botó d'emergència que aturarà l'activitat de l'aparell.

4.6 Anàlisi de requeriments

1. **Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.**
2. **Possibilitat de regulació de la velocitat.**
3. **Possibilitat de regulació de l'acceleració.**
4. **Modes de conducció:**

Mode 1: Mode en que l'usuari prem un botó i el disseny efectua 5 segons de moviment autònom tipus roomba.

Mode 2: Mode en que el disseny efectua conducció com l'anterior mode (només) mentre s'està prement un botó.

Mode 3: La conducció no s'efectua de forma autònoma sinó que l'educador condueix la cadira des de darrere.

5. **Panell posterior:** El panell posterior ha de dur un interruptor de parada i encesa i un botó de parada d'emergència.
6. **La interacció amb l'usuari s'ha d'efectuar amb un braç articulat i un polsador adaptat.**
7. **El disseny ha d'evitar col·lisions contra objectes de forma autònoma i caigudes a diferent nivell.**
8. **Ha de superar sense problemes la rampa d'accés al pati interior. Criteri de potència i criteri de geometria de l'aparell.**
9. **Amplada màxima de 75 cm.**
10. **Temps de muntatge < 4 min (mitjançant una persona).**
11. **Aixecament de la cadira, màxim 8 cm. En cas d'aixecament només de l'eix posterior cal que aquest sigui de màxim 4 cm.**
12. **Massa del conjunt, el de la cadira i l'usuari de 75kg.**

4.6.1 Estudi dels usuaris potencials

En el present treball s'ha prescindit d'efectuar un estudi de les capacitats motores o cognitives dels usuaris ni s'ha intentat trobar una interfície que englobi les tres necessitats. Aquesta part l'ha efectuat l'Aremi, qui ha interpretat aquestes dades i ens ha traslladat els requeriments a nivell d'interacció amb l'usuari.

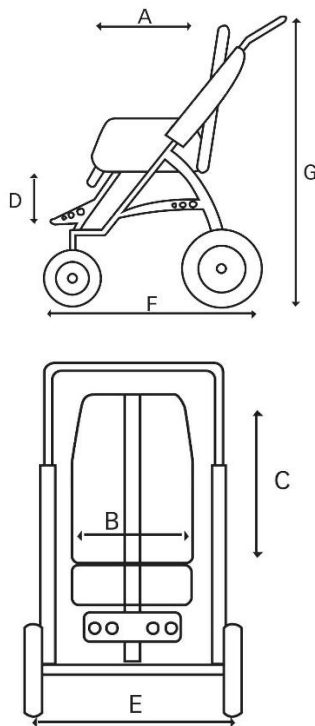
Els tres usuaris utilitzen cadires de rodes manuals pediàtriques i són les següents.

4.6.1.1 *Patron Rehatom 4*



Consisteix en un cotxet de rehabilitació plegable, amb seient extraïble i plegable, basculant, amb respall reclinable, reposapeus regulables en altura i profunditat, les empunyadures son graduables, totes les rodes són massisses. Permet personalització a nivell postural. Les dimensions i massa les podem veure en la taula següent:

Figura 4.6-1: Fotografia de la cadira Patron 4 Rehatom.



Paràmetre	Acotació	Valor
Profunditat del seient	A	27-31 cm
Amplada del seient	B	24-28-34 cm
Altura del respalller	C	52-68 cm
Longitud del reposapeus	D	20-35 cm
Amplada total	E	58 cm
Longitud total	F	86 cm
Altura total (Empunyadura inclosa)	G	101-115 cm
Regulació angle seient	-	+/-27º
Regulació angle respalller	-	0º/175º
Fre	-	PEU
Llargada total plegat	-	93 cm
Ample total plegat	-	58 cm
Altura total plegat	-	55 cm
Càrrega màxima	-	35 Kg
Massa	-	18,5 Kg

Figura 4.6-2: Plànol de la cadira de rodes Patron Rehatom

Taula 3: Taula de paràmetres de la cadira de rodes Patron Rehatom 4.

4.6.1.2 Invacare Action 3 Junior Estàndard.



Cadira de rodes pediàtrica amb xassís d'alumini, com es pot veure en les il·lustracions associades a la taula següent, la versió de l'usuari objectiu no disposa de tants paràmetres ajustables com la mateixa versió evolutiva de la cadira, que permet adaptar-se amb més garanties al creixement de l'infant.

Figura 4.6-3: Plànol de la cadira de rodes Invacare Action 3 Junior Estàndard.

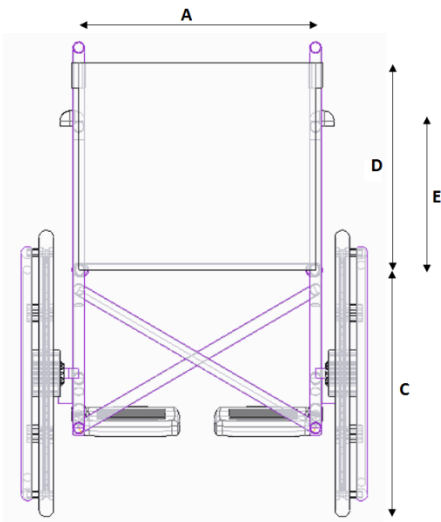


Figura 4.6-4: Plànol de la cadira de rodes Invacare Action 3 Junior.

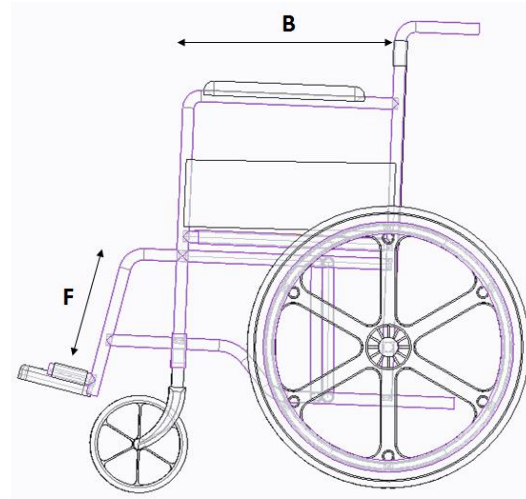


Figura 4.6-5: Plànol de la cadira de rodes Invacare Action 3 Junior.

Paràmetre	Acotació	Valor
Amplada del seient	A	355 mm
Profunditat del seient	B	250 a 300 / 300 / 300 a 350 / 350 mm
Altura del seient al terra	C	410 / 435 / 460 mm
Altura del respall	D	370 / 400 / 430 / 350 a 430 mm
Altura del reposabraços	E	150 a 250 / 180 a 280 mm
Regulació del reposapeus	F	125 a 450 mm
Angle del seient		1,5° / 5° / 8,5°
Angle del respall		
Amplada total		A + 200 mm
Altura total		870-1130 mm
Llargada total		900 - 1000 mm
Amplada plegat		325 mm
Pes total		15 kg
Pes màxim de l'usuari		80 kg

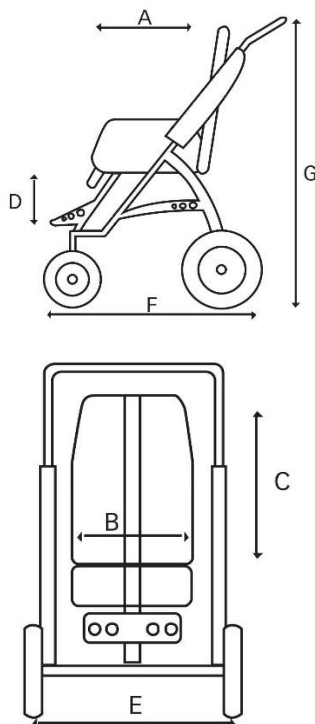
Taula 4: Taula de paràmetres de la cadira de rodes Invacare Action 3 Junior.

4.6.1.3 Ottobock Kimba Neo



Cadira de rodes manual pediàtrica de tipus cotxet, molt similar al model Patron 4 Rehatom.

Figura 4.6-6: Plànol de la cadira de rodes Ottobock Kimba Neo.



Paràmetre	Acotació	Valor
Profunditat del seient	A	24-40 cm
Amplada del seient	B	26-35 cm
Altura del respalller	C	56-70 cm
Longitud del reposapeus	D	20-37 cm
Amplada total	E	67 cm
Longitud total	F	
Altura total (Empunyadura inclosa)	G	71/116 cm
Regulació angle seient	-	-35°/+10° ó -10°/+35°
Regulació angle respalller	-	80°-180°
Fre	-	PEU
Mesures total plegat	-	59x43x58 cm
Càrrega màxima	-	40 kg
Massa	-	8.5 kg

Figura 4.6-7: Plànol de la cadira de rodes Ottobock Kimba Neo.

Taula 5: Taula de paràmetres de la cadira de rodes Ottobock Kimba Neo.

4.6.2 Rampa d'Accés al pati

La rampa d'accés al pati imposa dos requeriments a respectar:

1. Els motorreductors han de subministrar suficient parell per tal de superar-la sense problemes.
2. La geometria del xassís de l'aparell ha de poder passar la rampa de totes les formes possibles sense rascar en cap lloc.

A continuació es presenta l'estudi de la rampa d'accés al pati per tal d'aproximar o obtenir uns primers requeriments numèrics al model:

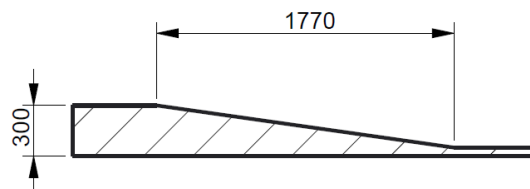


Figura 4.6-8: Vista de perfil de la rampa d'accés al pati interior. Anotacions en mm.

Entenent que un primer tipus de xassís pugui ser una plataforma de quatre rodes, amb una base plana, aquest bastidor podria passar la rampa frontalment o transversalment.

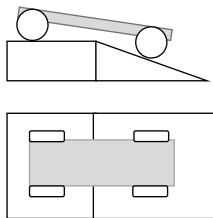


Figura 4.6-9: Diagrama de l'aparell baixant per la rampa frontalment.

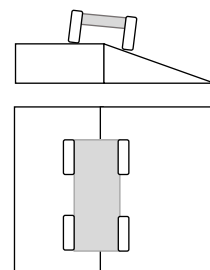


Figura 4.6-10: Diagrama de l'aparell baixant per la rampa transversalment.

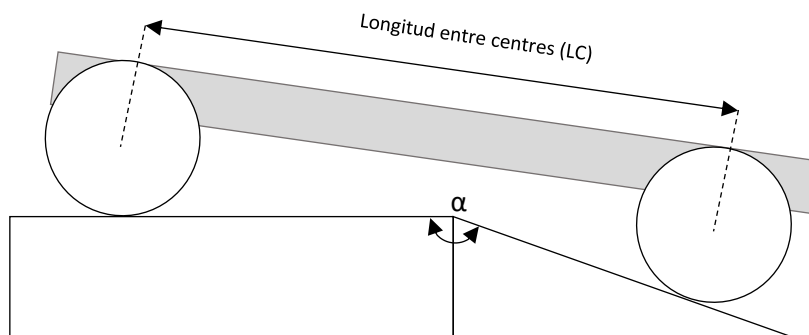


Figura 4.6-11: Diagrama de la posició de l'aparell en el moment de baixada frontal de la rampa..

Com que l'angle " α " és pròxim als 180° , es pot simplificar el problema i assumir que les rodes sempre toquen al terra en el mateix punt que ho farien en un pla horitzontal. Així doncs es pot obtenir el següent triangle escalè on l'angle α i A és conegut i constant, per tant, l'arc capaç del segment A i l'angle α seran totes les possibles posicions del vèrtex BC. Les altures del triangle obtingut seran les altures respecte el terra que ha de complir la geometria del terra de l'aparell. Per tant es pot assumir el problema d'aproximació de la rampa de forma frontal i transversal de la mateixa manera utilitzant l'amplada entre rodes i la longitud entre els centre de roda com únics paràmetres a tenir en compte.

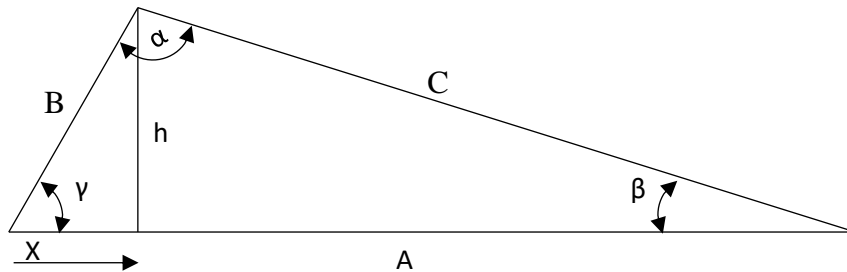


Figura 4.6-12: Diagrama del triangle escalè obtingut.

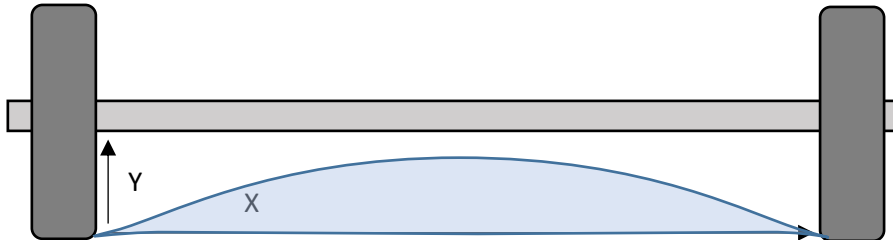


Figura 4.6-13: Diagrama de l'aparell. Rodes en gris fort, part inferior de l'aparell en gris fluix. L'àrea blava indica les zones amb interacció amb el terra. Per tant els baixos de l'aparell han d'estar almenys en la zona superior a l'àrea blava.

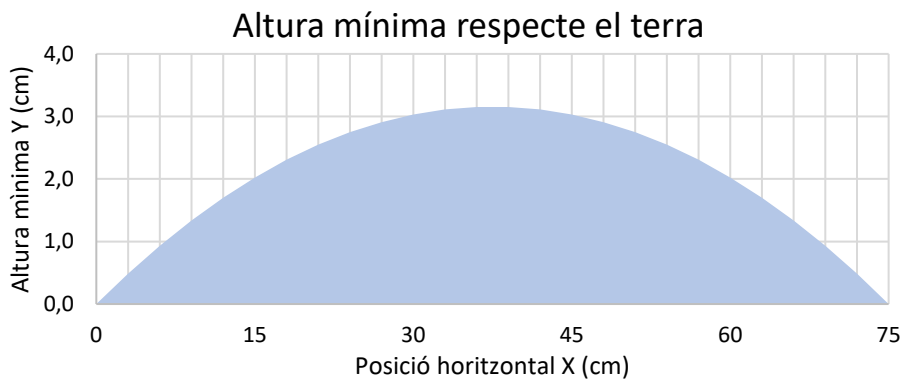
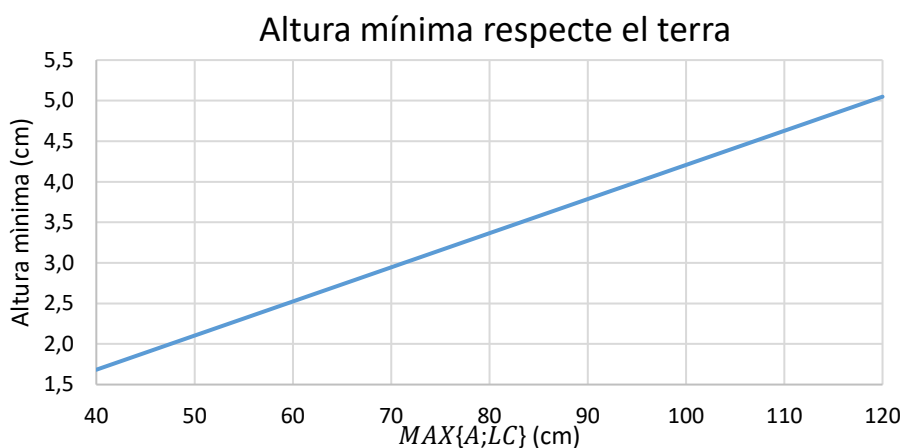


Figura 4.6-14: Altura mínima de les parts baixes de l'aparell respecte el terra, amplada entre rodes de 75cm.

Considerant que s'utilitzarà una plataforma plana amb quatre rodes, el moment en que l'altura del triangle escalè sigui màxima serà quan el vèrtex BC estigui en la mediatriu del segment A, i per tant es pot tractar com un triangle isòsceles. Així doncs, l'altura del mateix serà:

$$h_{min} = \frac{MAX\{A; LC\}}{2} tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$



Gràfic 4.6-1: Altura mínima d'una plataforma de quatre rodes

4.6.3 Portes i espai interior

Es té la previsió d'utilitzar l'aparell en els espais interiors de l'Aremi, i pel pati interior de l'associació, incloent la rampa d'accés al pati. Els espais són amples, adaptats a l'ús de les cadires de rodes en l'espai. Cal destacar que les portes més estretes són de 85 cm.

Cal destacar també que a nivell de l'estudi del sistema anticoll·lisió amb objectes i anticaigudes a diferent nivell, en el vestíbul de l'associació hi trobem unes escales d'accés al pis inferior, per tant, la cadira podria sofrir una caiguda per les escales.

4.6.4 Manteniment i Seguretat

L'activitat de l'associació està centrada a l'educació, la formació, el seguiment amb les famílies... Per tant, s'estableix el requeriment que el manteniment de l'aparell es pugui dur a terme per personal no format.

L'aparell ha de garantir la seguretat de les persones i dels béns al voltant del mateix i no ha de suposar un risc per l'usuari.

4.6.5 Emmagatzematge, transport i temps de muntatge

Cal minimitzar les necessitats d'espai d'emmagatzematge del conjunt de l'aparell.

El transport de l'aparell des del lloc de magatzem al lloc de muntatge a la cadira ha de ser el més còmode possible.

Els temps de muntatge de l'aparell a la cadira de rodes ha de ser de menys de 5 minuts mitjançant una persona.

4.7 Estudi d'alternatives

Segons els productes comercials, prototips o literatura científica que s'ha revistat en aquest projecte s'han extret sis alternatives de bastidor.

La següent taula és una matriu de decisió per l'elecció del xassís. Els requeriments mostrats recullen els requeriments que ha de complir el disseny. És valora numèricament de l'u al tres. Els pesos específics responen a un 20 % per cada criteri de tipus funcional, i un 10 % per cada criteri de tipus tècnic. Els apartats posteriors expliquen en que consisteixen les diferents alternatives, quines decisions s'han considerat i quins reptes o avantatges es preveuen.

Els requeriments que recull la taula són:

- 1. Temps d'acoblament:** S'ha valorat com a positiu la facilitat de muntatge i el temps requerit de forma aproximada.
- 2. Aixecament de la cadira:** S'ha valorat molt negativament aixecaments molt alts només de l'eix posteriors, mitjans en aixecament de tots la cadira, i com a molt favorables aixecaments mínims.
- 3. Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu:** S'ha valorat el repte de disseny de fixació a les cadires acotades com també la facilitat en futures modificacions per fer compatibles més models de cadira de rodes.
- 4. Tasques de manteniment:** S'ha valorat l'espai disponible per fer comprovacions i que les peces o fixacions hagin o no d'estar sol·licitades mecànicament.
- 5. Seguretat:** És valora la robustesa de les fixacions i les possibilitats que hi hagin caigudes o no.
- 6. Facilitat de conducció:** S'ha valorat que no hi hagi aixecament de la cadira per tal que l'usuari tingui la mateixa visió que té habitualment en la seva cadira de rodes. Per l'altra banda, també s'ha valorat positivament com menys increment d'amplada i longitud respecte a la cadira de rodes per motoritzar la cadira de rodes manual.
- 7. Cost:** Òbviament, es valora positivament menor cost d'adquisició de materials.

La resta de requeriments s'han obviat en la decisió, entenent que són plenament compatibles amb els requeriments.

Matriu de decisió alternatives de xassís							
Requeriment	Pes	S1	S2	S3	S4	S5	S6
1. Temps de muntatge.	20%	3	2	2	2	2	3
2. Aixecament de la cadira.	20%	2	1	1	3	1	2
3. Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.	20%	3	2	2	3	2	3
4. Tasques de manteniment.	10%	3	2	2	2	2	3
5. Seguretat.	10%	2	2	1	3	2	2
6. Facilitat de conducció.	10%	2	2	1	3	2	3
7. Cost.	10%	2	2	2	2	2	3
TOTAL		2,6	1,8	1,6	2,6	1,8	2,7

Taula 6: Matriu de decisió d'elecció del xassís.

Com mostra l'anterior taula, els dissenys que segons la mateixa són més interessants són les solucions 1, 4 i 6. És a dir la plataforma completa, les rodes de fricció i la solució "bloc".

La plataforma és una solució segura, robusta però aixeca molt la cadira i és molt llarga i ampla, poc maniobrable i molt pesada.

Les rodes de fricció són una solució molt segura, sense aixecament de la cadira, però que imposa de fixacions a les barres posteriors, que hi existeixen dos bloc i el temps de muntatge és relativament alt, i difícil d'adaptar degut a la variació de diàmetres de les rodes.

La solució "bloc", es considera que és el millor equilibri entre poc aixecament, temps de muntatge molt bo, força compatible amb els models acotats per Aremi a més de fàcilment modificable per allotjar-ne més, força maniobrabilitat a canvi de pagar pocs peatges. La solució és compacta i segura, la cadira només podria sortir de l'allotjament si se'n fa un ús molt fora del que es consideri en el seu disseny.

4.7.1 Plataforma Completa (S1)

Consisteix en fer una plataforma de quatre rodes, les dos davanteres seran boges mentre que les posteriors seran rodes fixes. La cadira es munta sobre aquesta plataforma anat cap endarrere i mitjançant una plataforma externa.

En aquesta solució la cadira es fixaria mitjançant topalls, cordes, serjants, falques (cunyes) o solucions mixtes segons sigui més adient.

Respecte a la interfície amb l'usuari, caldria col·locar el braç articulat en qualsevol tub que es consideri de la cadira de rodes. No es preveu cap problema.

El conjunt hauria de tenir una amplada mínima de 75 cm i una longitud de 100 cm a més de la part posteriors que contindria les bateries, els motor reductors i l'electrònica necessària (uns 125 cm de longitud total). Caldria incloure els sensors necessaris, que els podríem col·locar en qualsevol lloc del xassís de l'aparell de forma fixa i cablejar-ho.

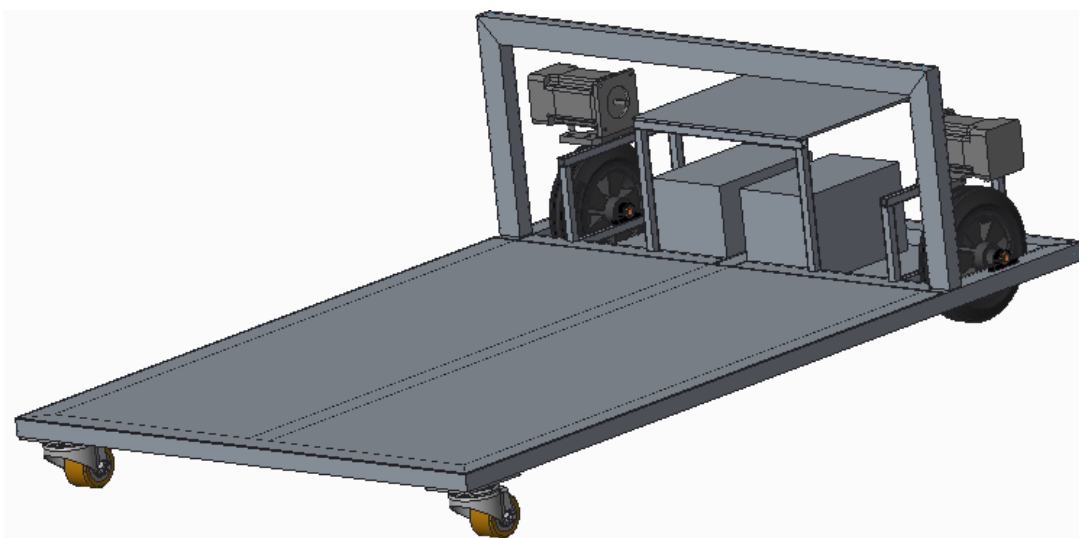


Figura 4.7-1: Esbós de l'alternativa de disseny: "Plataforma completa".

Aquesta solució es considera molt robusta, molt compatible amb tots el models de cadira de rodes manuals, però alhora el seu volum (el del disseny i el de la plataforma de càrrega) representa inconvenients de transport, d'emmagatzematge i dificultats en la maniobra. Cal destacar que és en aquesta alternativa cal una despesa rellevant en materials pel xassís.

Com a principal inconvenient cal destacar que al ser l'alternativa amb el volum més gran caldrà aixecar-la mínim 6 centímetres.

Requeriment	Pes	Nota	Justificació
Temps d'acoblament.	20%	3	Consisteix en alinear la rampa de muntatge amb la plataforma, muntar la cadira i fixar-la adequadament.
Aixecament de la cadira.	20%	2	Mínim de 7,5 cm amb un 50% de marge. L'aixecament s'efectua en els dos eixos.
Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.	20%	3	És una solució totalment universal. Amb l'únic limitant en l'àrea útil de la plataforma.
Tasques de manteniment.	10%	3	Considerem una solució molt robusta, els elements de motorització són fàcilment accessible i tenen molt espai per treballar.
Seguretat.	10%	2	L'aixecament de 7,5 cm és completament segur però aixeca el centre de gravetat. L'alternativa és compatible amb fixacions senzilles i robustes.
Facilitat de conducció.	10%	2	L'usuari veu modificada la seva visió degut al gran aixecament necessari. Els models de cadira menys amples veuen molt augmentades les dimensions d'amplada i llargada. La maniobra pot ser difícil per l'educador al passar entre portes o zones amb poc espai.
Cost.	10%	2	Es considera una inversió afegida sobre les altres alternatives en la compra dels elements necessari i el posterior muntatge del xassís.
TOTAL		2,6	-

4.7.2 Mitja plataforma (S2)

Consisteix en fer una plataforma de tres rodes on la davantera serà boja i les dos posteriors seran fixes. Es considera que la cadira es munti sobre la plataforma anat cap endarrere, prescindint d'una plataforma externa. La cadira quedaria fixada a la plataforma mitjançant topalls per les rodes posteriors i mitjançant cordes, falques o serjants segons es consideri més convenient.

El conjunt consistiria en la plataforma i els motorreductors, les bateries i la electrònica necessària. Tot col·locat a la part posterior de l'aparell. Per tant, la part davantera de la plataforma hauria de tenir com a mínim 60 cm, entenent que el diàmetre més gran de les rodes posteriors de les cadires de rodes manuals a motoritzar és de 56 cm a més de 25 cm adicional per contenir la resta de materials. L'amplada hauria de ser de 75 cm, utilitzant el mateix raonament que en alternatives anteriors.



Figura 4.7-2: Esbós de l'alternativa de disseny: "Mitja Plataforma".

Aquesta opció no requereix de rampa exterior de càrrega ja que l'alçada a aixecar les rodes posteriors és sensiblement menor a l'alternativa anterior. Es preveuen problemes posturals alhora d'aixecar només la part posterior de la cadira. El volum és menor a l'alternativa anterior i per tant hi hauria menys problemes de transport, d'emmagatzematge i de maniobra.

Requeriment	Pes	Nota	Justificació
Temps de muntatge.	20%	2	És interessant el fet que es prescindeix de la rampa externa de càrrega. Les fixacions es preveuen més complicades i amb més temps de muntatge respecte a l'alternativa anterior.
Aixecament de la cadira.	20%	1	Aquesta solució representa un aixecament de l'eix posterior d'uns 4,5 cm.
Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.	20%	2	Es considera menys compatible que l'alternativa anterior.
Tasques de manteniment.	10%	2	Relativament senzilles, menys accessibilitat que a l'opció anterior.
Seguretat.	10%	2	Menys seguretat que a l'opció anterior.
Facilitat de conducció.	10%	2	L'àrea de la plataforma més petita que l'opció anterior. L'aixecament de només l'eix posterior ofereix una visió una mica diferent a l'usuari.
Cost.	10%	2	La plataforma és relativament gran, hi haurà inversió en el xassís.
TOTAL		1,8	-

4.7.3 Remolc articulat (S3)

Conjunt que consisteix en dos parts. La primera és un bastidor de fixació que s'acobra a les barres horitzontals posteriors de la cadira manual mitjançant les fixacions que es considerin més idònies.

La segona part, que representa la part tractora, consisteix en una barra que conté les dos rodes fixes i els motoreductors i que s'uneix a la primera part mitjançant una unió articulada de manera que el remolc gira només en el pla horitzontal.

La part tractora, aixeca la cadira el mínim necessari per tal de superar la rampa d'accés al pati correctament.

La part tractora, com es mostra en la següent Figura ha d'incloure els motorreductors, les rodes, les bateries i la electrònica necessària.



Figura 4.7-3: Esbós de l'alternativa de disseny: "Remolc Articulat".

Es preveuen problemes en el fenomen de tiora, el fet que el remolc aixequi des de darrere la part posterior de la cadira preveu que les connexions siguin molt sol·licitades a nivell d'esforços. Una opció per solucionar aquest aspecte seria col·locar una roda boja en el braç telescòpic i fer que el braç de connexió entre el braç telescòpic i el remolc fos articulat en el pla vertical. Caldria, però analitzar i solucionar possibles problemes de tracció.

La fixació d'aquesta opció depèn de la geometria de les barres posteriors i per tant és un aspecte a dedicar-hi atenció.

Requeriment	Pes	Nota	Justificació
Temps de muntatge.	20%	2	No requereix de rampa exterior però sí de fixacions amb les barres.
Aixecament de la cadira.	20%	1	S'hauria d'aixecar la cadira almenys 4,5 cm.
Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.	20%	2	La fixació a les barres ofereix una pobra universalitat amb diferents models de cadira de rodes diferents, i per tant, amb barres posteriors diferents. A més la geometria del remolc i de les seves posicions màximes i mínimes suposa un repte.
Tasques de manteniment.	10%	2	Es considera problemes de recanvis de rodes per mala tracció intermitents, i peces molt sol·licitades.
Seguretat.	10%	1	Possible fenomen de la tisora.
Facilitat de conducció.	10%	1	Possible fenomen de la tisora.
Cost.	10%	2	Mitjà.
TOTAL		1,6	-

4.7.4 Rodes de fricció (S4)

Aquesta solució consisteix en una fixació a les barres posteriors de les cadires de rodes manuals i aconseguir posar en contacte les rodes motrius de l'aparell amb les rodes posteriors de les cadires de rodes manuals.

El principal inconvenient és el d'aconseguir una fixació senzilla i eficient per als tres models de cadira de rodes manual.

Es considera implementar un embragatge mitjançant una pinça de palanca, que acoblarà o desacoblarà les rodes de fricció de forma ràpida. Prèviament, l'ajudant de l'usuari haurà d'ajustar mitjançant cargoleria la pressió d'acoblament desitjat.



Figura 4.7-4: Vista de detall de l'alternativa de disseny "Rodes de fricció".



Figura 4.7-5: Esbós de l'alternativa de disseny "Rodes de fricció".

En aquesta alternativa es consideren necessaris dos mòduls: el primer ha de ser el que és fixi a les barres i aconseguixi motoritzar la cadira, és a dir els motorreductors, les rodes i les fixacions i l'estructura necessària. El segon mòdul seria el de les bateries i l'electrònica que podria ser una motxilla a fixar en les empenyadures de la cadira de rodes. Es preveu que el temps de muntatge sigui alt, i que l'existència dels dos mòduls sigui un problema de transport i d'emmagatzematge.

El principal avantatge recau en que la cadira no augmenta pràcticament en volum, i que no s'aixeca gens la cadira i per tant no es veu afectada la percepció a que està habituat l'usuari.

La fixació d'aquesta opció depèn de la geometria de les barres posteriors i per tant és un aspecte a dedicar-hi atenció.

Requeriment	Pes	Nota	Justificació
Temps de muntatge.	20%	2	Mitjà a causa de fixació a les barres posteriors. Es preveu que tingui dos mòduls i per tant dos col·locacions diferents.
Aixecament de la cadira.	20%	3	Perfecte, aixecament nul.
Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.	20%	3	Pobra universalitat causada per la fixació a les rodes posteriors. D'altra banda l'espai previst de la geometria del xassís ho fa bastant universal.
Tasques de manteniment.	10%	2	Mitjanes, segurament caldrà triar rodes motrius toves per tal de no gastar les de la cadira de rodes.
Seguretat.	10%	3	El fet de no modificar gens l'altura de la cadira ho fa una alternativa molt segura.
Facilitat de conducció.	10%	3	No augmenta les dimensions de la cadira i per tant pot maniobrar en espais reduïts.
Cost.	10%	2	Es preveu fixacions complicades però existents comercialment (i a cost dintre del rang objectiu).
TOTAL		2,6	

4.7.5 Fixació a les barres posteriors (S5)

Aquesta solució consisteix en una fixació a les barres posteriors de la cadira de rodes. L'estructura bàsica es telescòpica per tant l'amplada de la cadira a inserir-se pot ser variable. Es planteja que l'estructura es munti des de sota la cadira sense haver d'aixecar ni fer cap maniobra, un cop muntada l'estructura s'aixeca l'eix posterior l'altura justa que considerem i es bloqueja l'altura.

Aquesta solució s'aixeca només l'eix posterior de la cadira de rodes, però com que es té la possibilitat de que les rodes motrius (fixes) toquin el terra molt a prop d'on tocarien normalment, no caldria que s'aixequés gaire la cadira per tal de superar la rampa d'accés al pati netament.

Es considera que s'assoliria una fixació suficient mitjançant la fixació que es mostra en la figura 5.4.6 (dos en total) i un cargol de bloqueig del braç telescòpic.

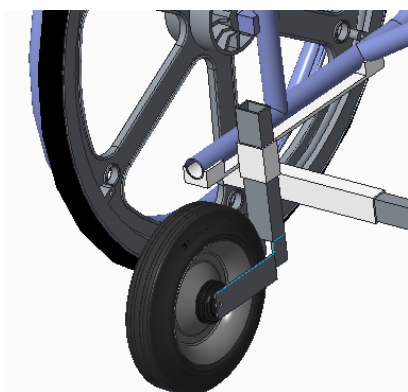


Figura 4.7-6: Vista de detall de l'alternativa de disseny "Fixació a les barres posteriors".

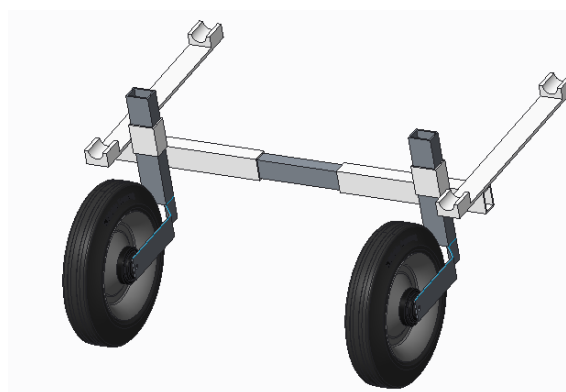


Figura 4.7-7: Esbós de l'alternativa de disseny: "Fixació a les barres posteriors".

Aquesta solució presenta els problemes propis a aixecar la cadira només en l'eix posterior. La fixació s'efectua, com en d'altres alternatives, amb les barres posteriors i per tant depenen de les diferents geometries de les cadires.

Requeriment	Pes	Nota	Justificació
Temps de muntatge.	20%	2	Caldran fixacions robustes a les barres posteriors.
Aixecament de la cadira.	20%	1	Teòricament es pot aixecar un aixecament mínim si es col·loquen les rodes motrius a prop de les rodes de la cadira. Però el disseny en si no ho garanteix completament.
Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.	20%	2	Mitjà. S'ha d'aconseguir fixacions robustes i compatibles amb els tres models.
Tasques de manteniment.	10%	2	Mitjanes, espai relativament poc accessible, fixacions molt sol·licitades.
Seguretat.	10%	2	Mitjanes.
Facilitat de conducció.	10%	2	S'espera que la cadira s'incrementi en longitud per allotjar bateries, motorreductors i material electrònic necessari.
Cost.	10%	2	Mitjà.
TOTAL		1,8	

4.7.6 Bloc (S6)

Aquesta solució consisteix en una plataforma de tres o més rodes. Fixada a les rodes posteriors de les diferents cadires de rodes. Per tal de minimitzar l'altura respecte el terra és convenient que les rodes motoritzades estigui molt a prop de les rodes posteriors a les cadires de rodes manuals.

En l'espai entre el terra i les barres posteriors caldria allotjar, els motorreductors, les rodes, les bateries i la resta material electrònic necessari. Cal gestionar el fet que les cadires de rodes manuals considerades tenen diàmetres diferents. En aquest sentit s'ha previst allotjar les rodes en dos punts mitjançant els pins d'allotjament de manera que la distància entre el punt més baix de les rodes i el terra sigui la mateixa sigui quin sigui el diàmetre.

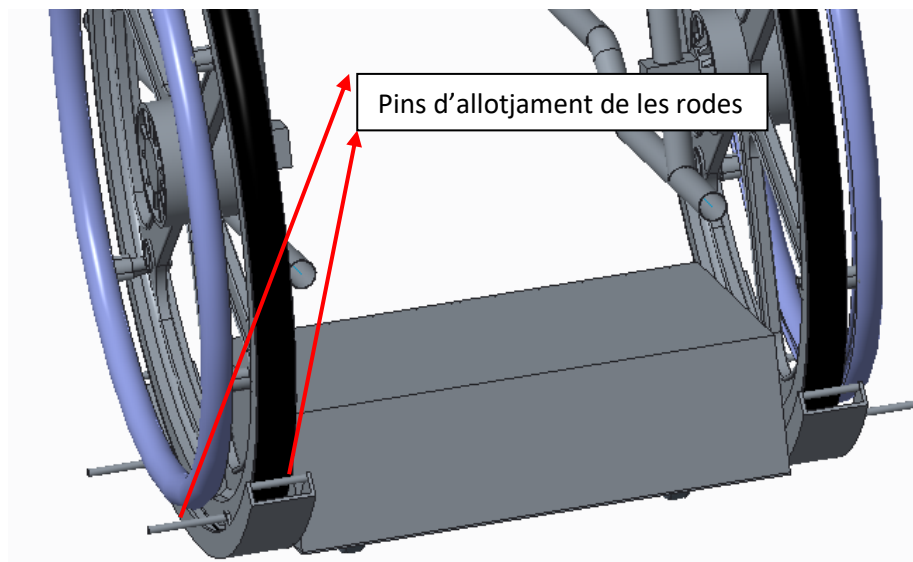


Figura 4.7-8: Esbós de l'alternativa "Bloc".

Aquesta solució té com avantatge el fet que la fixació interactua amb la roda i per tant, és més universal que les alternatives que ho fan amb el xassís de les cadires de rodes manuals. Cal gestionar que els pins d'allotjament tinguin les possibles posicions adequades als diàmetres de roda previstos, i que l'espai de les bateries, rodes, motorreductors i de l'electrònica necessària està restringit, en principi, entre el terra i les barres posteriors de les cadires de rodes manuals.

Caldrà gestionar que la plataforma sigui senzilla de col·locar, tingui suficient estabilitat per pujar la rampa, i aixequi la cadira el mínim, però suficient, per passar la rampa sense problemes.

Requeriment	Pes	Nota	Justificació
Temps de muntatge.	20%	3	Molt senzill.
Aixecament de la cadira.	20%	2	No s'ha valorat amb la puntuació màxima però es pot minimitzar molt l'aixecament.
Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.	20%	3	El fet que la fixació s'efectuï a les rodes suposa una fixació molt compatible amb els tres models i amb més diàmetres de rodes diferents.
Tasques de manteniment.	10%	3	El fet que les rodes de les cadires estiguin a prop de les rodes motrius es preveu que les peces estiguin relativament poc sol·licitades mecànicament.
Seguretat.	10%	2	A nivell teòric la cadira es podria escapar dels pins d'allotjament tot i el disseny ho ha d'impedir en l'ús normal de l'aparell.
Facilitat de conducció.	10%	3	Molt bo. No s'incrementa el volum de la cadira i per tant podrà efectuar maniobres en espais tancats.
Cost.	10%	3	No hi ha volum de material en el bastidor comparat amb les altres opcions ni fixacions complicades.
TOTAL		2,7	

4.8 Definició d'especificacions

Concepte	Definició	R/D
Funció	Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.	R
Funció	Les modificacions necessàries per tal d'allotjar noves cadires han de ser senzilles.	D
Funció	Possibilitat de regulació de la velocitat.	R
Funció	Possibilitat de regulació de l'acceleració.	R
Funció	Modes de conducció: Mode 1: Mode en que l'usuari apreta un botó i el disseny efectua 5 segons de moviment autònom tipus roomba. Mode 2: Mode en que el disseny efectua conducció com l'anterior mode (només) mentre s'està apretant un botó. Mode 3: La conducció no s'efectua de forma autònoma sinó que l'educador condueix la cadira des de darrere.	R
Funció	Panell posterior: El panell posterior ha de dur un interruptor de parada i encesa i un botó de parada d'emergència.	R
Funció	La interacció amb l'usuari s'ha d'efectuar amb un braç articulat i un polsador adaptat.	R
Funció	El disseny ha d'evitar col·lisions contra objectes de forma autònoma i caigudes a diferent nivell.	R
Funció	Ha de superar sense problemes la rampa d'accés al pati interior. Criteri de potència i criteri de geometria de l'aparell.	R
Dimensions	Amplada màxima de 75 cm.	R
Funció	Temps de muntatge < 4 min (mitjançant una persona).	R
Funció	Temps i facilitat de muntatge (temps muntatge < 3 min. Mitjançant una persona).	D
Dimensions	Aixecament de la cadira, màxim 8 cm. En cas d'aixecament només de l'eix posterior cal que aquest sigui de màxim 4 cm.	R
Pes	Pes màxim del disseny de 20kg.	NR
Dimensions	Amplada màxima del disseny de 70 cm	NR
Dimensions	Amplada màxima ha de ser la de la cadira de rodes més 6 cm o com a màxim 70 cm	D
Funció	Emmagatzematge en calaix d'armari de 40x40x50 cm.	D
Cost	El pressupost de materials no ha de superar els 600 €.	NR
Cost	El pressupost de materials no ha de superar els 400 €.	D
Funció	El disseny no ha de posar en risc els usuaris directes del disseny, ni els vianants dels voltants ni els bens de l'associació.	NR
Manteniment	Facilitat de manteniment o reposició de peces.	NR
Funció	L'eix posterior de la cadira no s'ha d'aixecar més de 7 cm en el moment de carregar-la en el bloc.	NR

Taula 7: Definició d'especificacions. R/D: R = Requeriment; NR = Nou requeriment; D = Desig.

4.9 Càlculs preliminars

Primer de tot es classificaran les especificacions segons si són crítiques o no, és a dir, s'eludiran les especificacions que siguin desitjos i les que es creuen que són més fàcilment resolubles. La especificació crítica que cal considerar primer és:

- **Compatibilitat amb els tres models de cadira de rodes manuals dels usuaris objectiu.**

L'alternativa "bloc" contempla allotjar les diferents rodes de les cadires de rodes manuals dels usuaris objectius mitjançant els pins d'allotjament. És important primer, analitzar en detall les rodes de les cadires de rodes i les seves immediacions.



Figura 4.9-1: Part posterior Patron Rehatom 4.

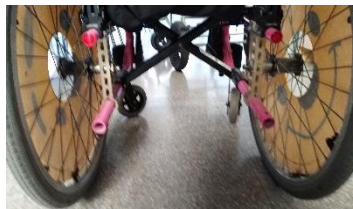


Figura 4.9-2: Part posterior Invacare Action 3 Junior estàndard.



Figura 4.9-3: Part posterior Ottobock Kimba Neo.

Com es pot observar en les il·lustracions anteriors, la cadira de la marca Invacare (segona per l'esquerra) té les rodes més gran que la resta, també difereix en la posició de les barres posteriors, les dels models tipus cotxet passen pel centre de les rodes, en canvi les de la Invacare van en direcció longitudinal.

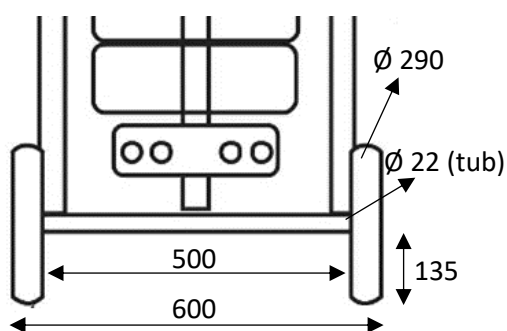


Figura 4.9-4: Part posterior Patron Rehatom 4.

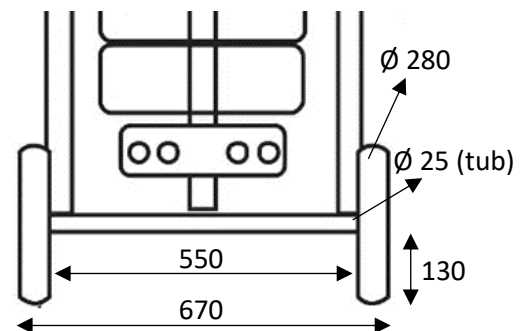


Figura 4.9-5: Part posterior Ottobock Kimba Neo.

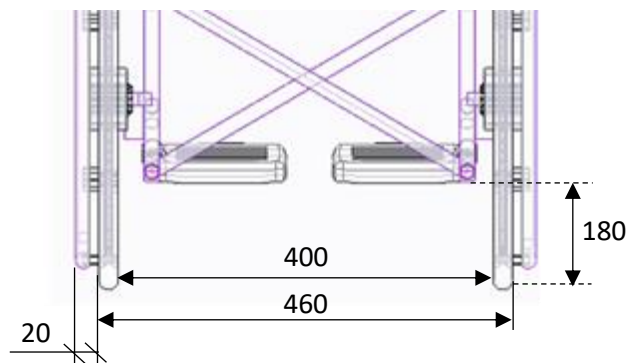


Figura 4.9-6: Part posterior Invacare Action 3 Junior estàndard.

Com es pot veure en l'anterior diagrama, cal gestionar com van allotjades les rodes de les diferents cadires. També sembla interessant aconseguir un disseny de fixació a les rodes fixe. Per aconseguir-ho cal tenir en compte que l'altura respecte el terra de les rodes sigui el mateix. Per a fer-ho, i com que els diàmetres de les dos cadires de rodes manuals de tipus cotxet tenen diàmetres de roda molt similars (280 i 290 mm), s'estableix que poden compartir pin d'allotjament.

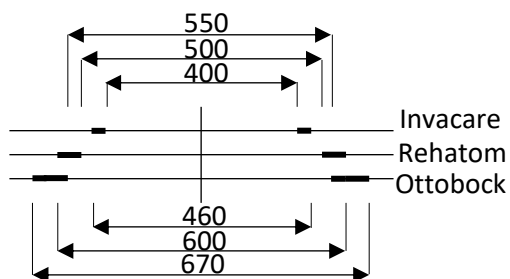


Figura 4.9-7: Diagrama amplades interiors entre rodes (acotacions superiors) i d'amplades exteriors (acotacions exteriors). Diagrama base per al disseny dels allotjaments de les rodes.

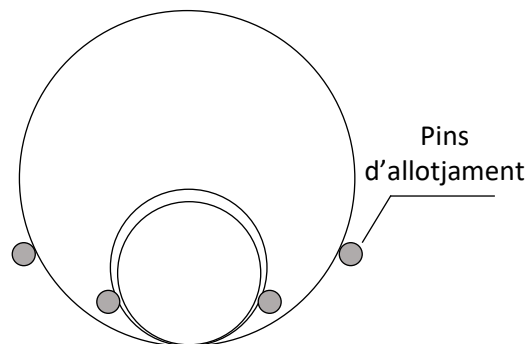


Figura 4.9-8: Diagrama de la disposició dels pins d'allotjament.

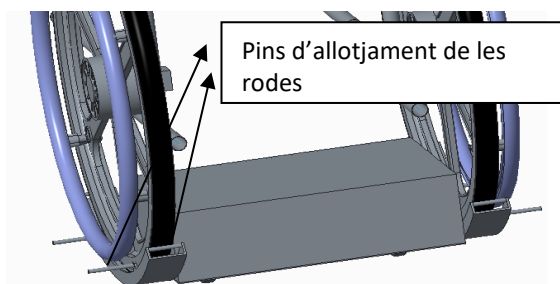


Figura 4.9-9: Previsió de la disposició dels pins. I visualització de la fixació de la cadira de rodes Invacare.

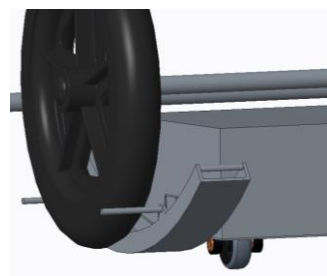


Figura 4.9-10: Previsió de la disposició dels pins. Visualitzem la fixació de les cadires de rodes Rehatom i Ottobock.

Un cop comprovat que l'alternativa és factible a nivell de fixació amb les rodes, cal comprovar si es disposa d'espai suficient per allotjar la resta de material necessari en l'espai que preveu l'alternativa, és a dir, en l'espai contingut per el pla inferior de l'aparell, les barres posteriors de les cadires de rodes manuals, i en l'eix longitudinal per qualsevol barra que anteriorment no s'ha contemplat correctament.

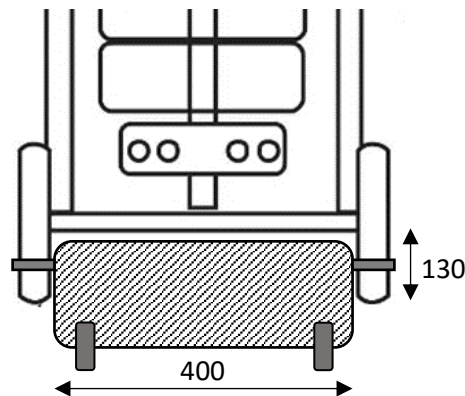


Figura 4.9-11: Diagrama de l'espai disponible, vista posterior.

El diagrama anterior mostra l'espai disponible en rectangle ratllat, com a mínim disposarem d'un volum de 400x130x500 mm, que creiem suficient per allotjar tot el material necessari (rodes, motors, reductors, bateries, controladors...).

4.10 Esbós i disseny general

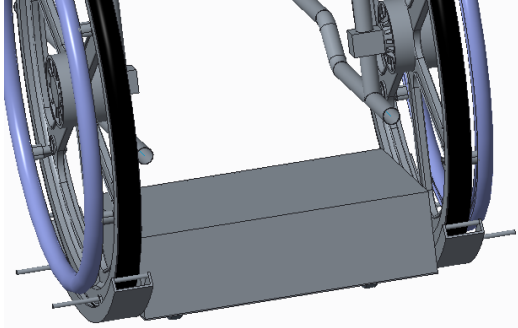


Figura 4.10-1: Vista posteriors del conjunt allotjament per la Invacare.

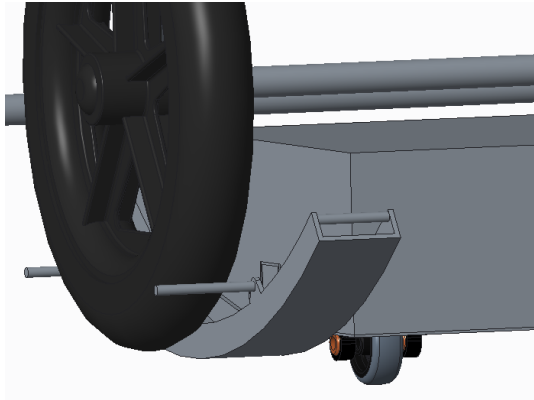


Figura 4.10-2: Vista posterior del conjunt, allotjament per la Rehatom.

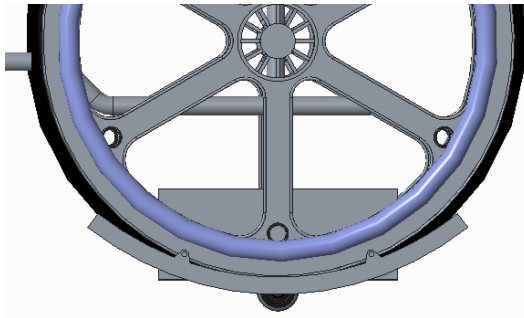


Figura 4.10-3: Detall de l'aixecament de la roda en vista de perfil (Invacare).

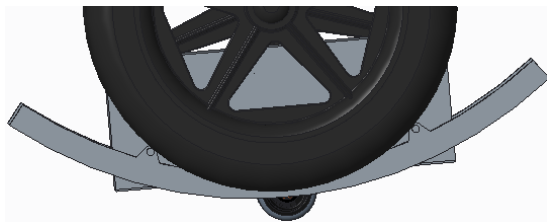


Figura 4.10-4: Detall de l'aixecament de la roda en vista de perfil (Rehatom).

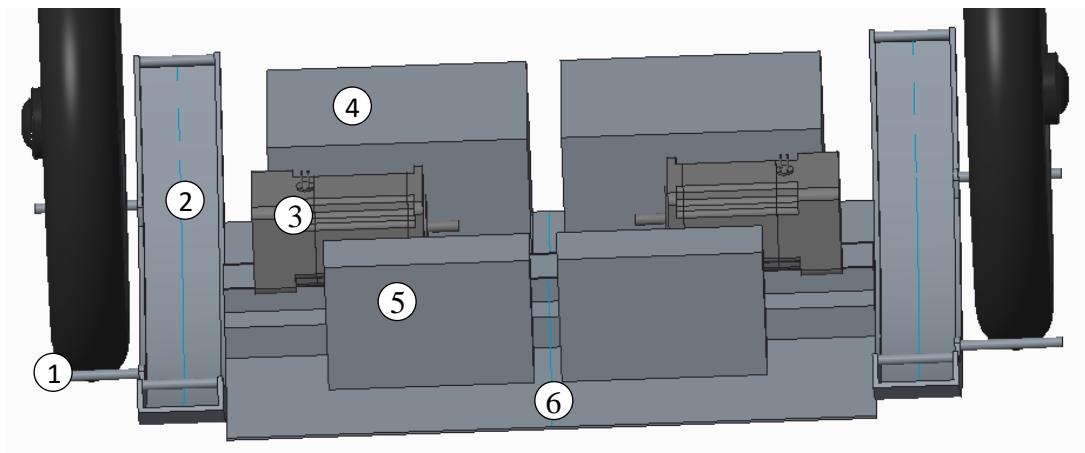


Figura 4.10-5: Composició bàsica del conjunt: 1.- allotjament Rehatom; 2.- allotjament Invacare; 3.- motor; 4.- bateria; 5.- driver del motor; 6.- espai considerat per l'electrònica i alimentació dels components.

Es preveu que el conjunt tingui un polsador i un braç articulat per la interfície amb l'usuari i que tingui sensor de proximitat a la part davantera.

4.11 Anàlisi de solucions

En aquest apartat es mostren les decisions més importants i representatives del procés de disseny del present projecte. Cal comentar que el procés de disseny del present treball ha seguit un procés iteratiu d'anàlisi de les solucions proposades del conjunt o de components que de vegades s'han hagut d'analitzar de forma holística degut a les interrelacions que imposa cada component. Tot i així a continuació es descriu el procés de disseny i s'exposen les decisions triades.

Procés de disseny		
Mòdul Mecànic	1	Elecció Xassis i Fixacions
	2	Elecció de transmissió de forces (rodes, motorreductor...)
	3	Elecció del controlador del motor.
	4	Elecció de dispositius de frenat.
	5	Elecció de les bateries.
	6	Distribució interna de l'aparell.
Mòdul Elèctric	7	Elecció mètode de moviment autònom.
	8	Elecció del sensors.
	9	Elecció allotjament dels sensors.
	10	Elecció dels dispositius d'alimentació.
	11	Validació de bateries.
	12	Esquema elèctric.
Integració	13	Validació distribució interna.
	14	Validació i integració de tots els elements.
	15	Validació de l'esquema elèctric.
	16	Cablejats i connexions.
	17	Validació dels requeriments del client i dels tècnics.

4.11.1 Elecció Xassís i Fixacions

En aquest apartat es descriuen les opcions considerades de disseny de xassís. Cal considerar que el xassís en gran forma imposa la geometria de les fixacions i en el present apartat s'han volgut tractat conjuntament. S'han trobat, principalment, dos categories de bastidor, a continuació s'expliquen breument i s'exposa la tria del mateix i el motiu.

Bastidor 1

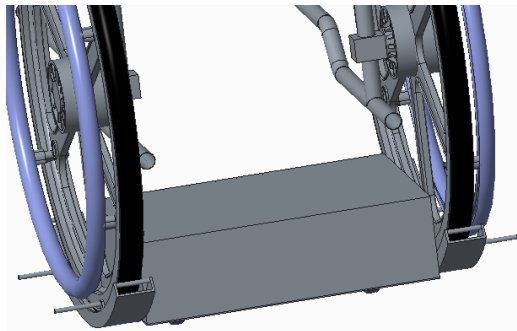


Figura 4.11-1: Bastidor-Fixació de pins.

Bastidor 2

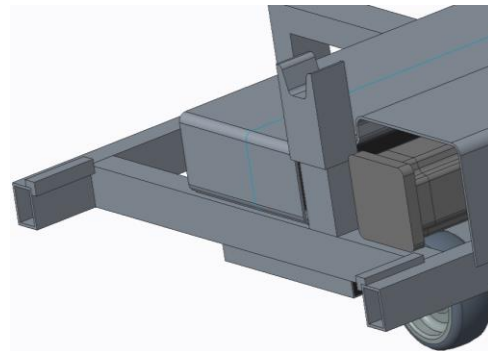


Figura 4.11-2: Bastidor mixt. És a dir, bastidor-fixació de pins d'allotjament per a la roda invacare i de fixació al bastidor per als models Ottobock i Rehatom.

Bastidor 1: Consisteix en un bastidor compost per dos parts. La primera consisteix en un bastidor rectangular. La segona part és un perfil en U d'alumini o acer, corbat i que allotja en l'interior de la U, els pins de la Invacare. A l'exterior del perfil s'allotgen els pins d'allotjament de les rodes de les cadires Rehatom i Ottobock. Es considera que la segona part està articulada en un punt del bastidor, de forma que en el moment de la càrrega és pugui bolcar per tal que l'educador hagi d'alçar la cadira en el moment de la càrrega el mínim possible. Requereix de passador elàstics per tal de bloquejar l'articulació de la segona part del bastidor, cal que aquest passadors s'accionin de forma còmoda per l'educador.

Bastidor 2: Consisteix en un bastidor rectangular on les rodes posteriors de la cadira de rodes Invacare s'allotgen directament al bastidor. En canvi la fixació per les cadires de rodes Ottobock i Rehatom consisteix en allotjar la barra posterior entre les forquilles (veure Figura 4.11-2).

Es considera que el **Bastidor 2** ofereix més avantatges de simplicitat i rapidesa de muntatge. En canvi, el bastidor 1 imposa més esforç de disseny, de cost i de manteniment a canvi de poques

avantatges. S'ha prioritzat la simplicitat del disseny contra la minimització de l'aixecament en el moment de la càrrega.

Les fixacions hauran de complir dos criteris principals:

- Les rodes estaran alineades en el pla inferior tal i com mostra la Figura 4.11-3.
- S'entén que les fixacions de les cadires de rodes Rehatom i Ottobock ja seran prou segures, en canvi l'allotjament de pins per a les rodes Invacare caldrà que és verifiquin dos criteris:
 - Seguretat en la rampa.
 - Seguretat en xoc en pla.

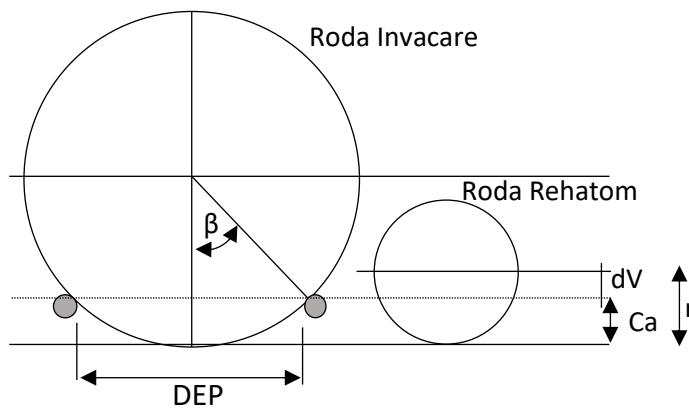


Figura 4.11-3: Esquema dels paràmetres a tenir en compte per la construcció del bastidor 2.

$$2\sin\beta \cdot \frac{\Phi_{invacare}}{2} = DEP$$

$$\frac{\Phi_{invacare}}{2} (1 - \cos\beta) = Ca$$

$$dV - \frac{\Phi_{rehatom}}{2} + Ca = 0$$

$$DEP = 350\text{mm}$$

$$\beta = 38,78^\circ$$

$$Ca = 61,59\text{mm}$$

$$dV = 80,91\text{mm}$$

Equació 4.11-1: Equacions que regeixen les fixacions i paràmetres finalment escollits.

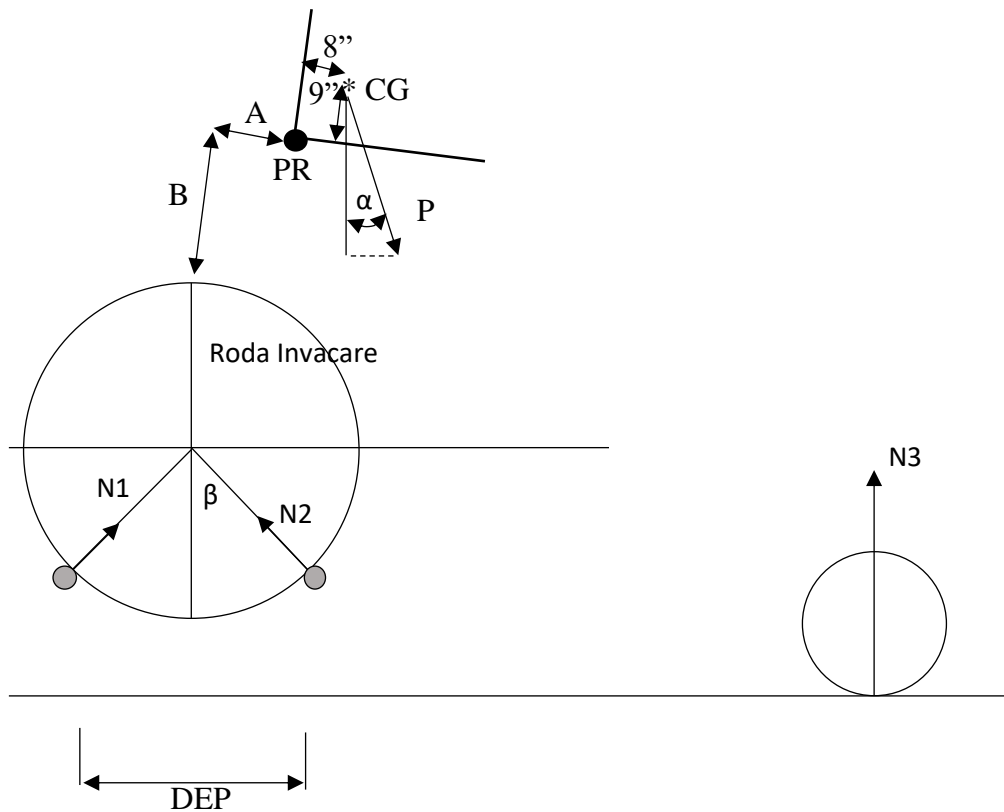


Figura 4.11-4: Esquema del càlcul de la distància entre pins "DEP" mínima per tal que s'obtingui seguretat estàtica en la rampa.

$$\sum F_x = 0; -\sin\beta N_2 + \sin\alpha P = 0 \quad \text{On:}$$

$$\sum F_y = 0; +\cos\beta N_2 + \cos\alpha P + N_3 = 0 \quad \alpha: \text{angle de la rampa.}$$

$$\sum M_{CR} = 0; +M_{CR}^P + M_{CR}^{N_3} = 0 \quad \text{A; B: distàncies de la cadira conegudes.}$$

$$CG = PR + (8'', 9'') \quad N1; N2; N3: \text{Reaccions normals.}$$

$$P: \text{pes del conjunt.}$$

Equació 4.11-2: Equacions que regeixen el criteri de seguretat estàtic.

Aplicant l'Equació 4.11-2 trobem la distància entre pins mínima per tal que la cadira quan es troba completament en la rampa no bolqui. S'aproxima el centre de gravetat del conjunt entenenent que el centre de gravetat serà molt pròxim al centre de gravetat del cos humà assentat. S'ha entès que en el moment més desfavorable la reacció N1 s'anul·la completament.

$$\beta_{min} = 30,69^\circ; DEP_{min} = 285,2 \text{ mm}$$

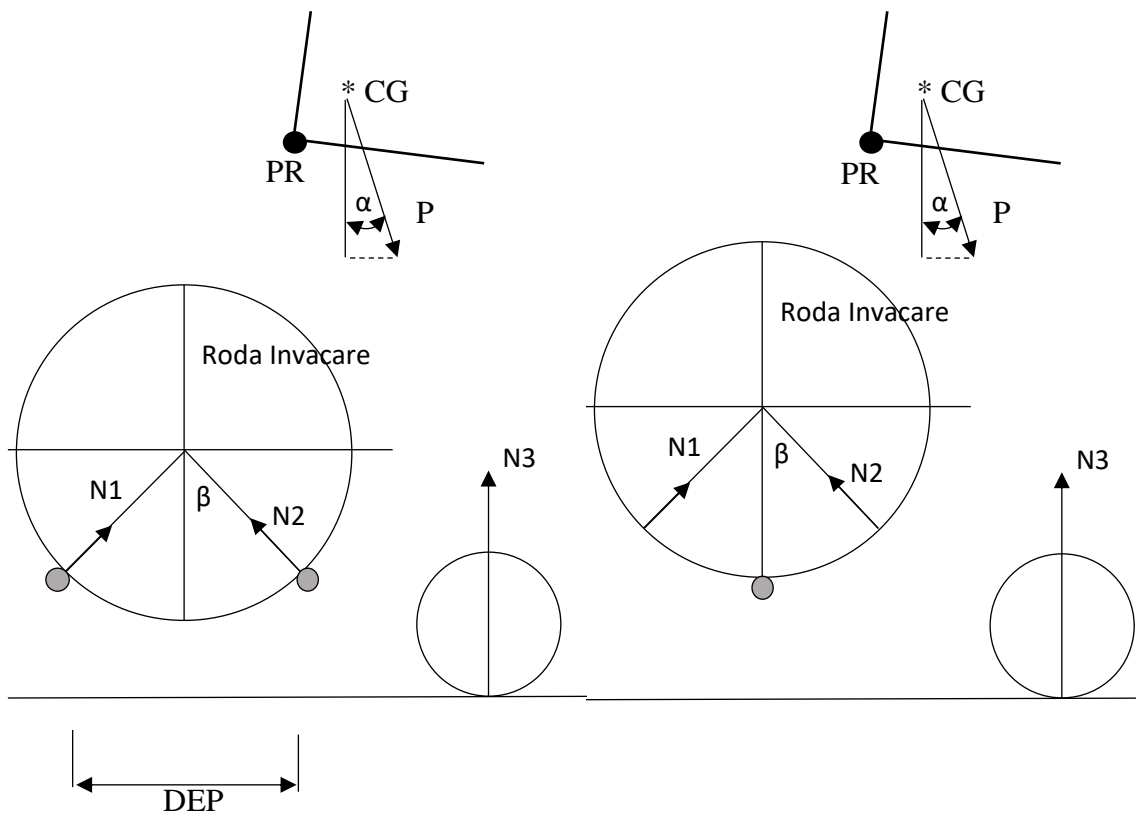


Figura 4.11-5: Posició de la cadira completament allotjada en els pins corresponents.

Figura 4.11-6: Posició de la cadira just a punt de sortir dels pins degut a un xoc en direcció cap endavant.

$$\Delta E_c = \Delta E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mg\Delta y^{CG}$$

Equació 4.11-3: Equacions que regeixen el criteri de seguretat en el xoc.

On:

m: massa del conjunt.

v: velocitat en el xoc.

g: constant gravetat.

Δy^{CG} : Diferència de posició vertical del centre de gravetat entre les posicions corresponent a la Figura 4.11-5 i Figura 4.11-6.

En el càlcul s'ha considerat una velocitat de xoc de 0,6 m/s, entenent que bona part de l'energia del xoc és dissipada per deformacions del xassís del conjunt, de les rodes pneumàtiques. En aquestes condicions els pins han de complir:

$$\beta_{min} = 34,8^\circ; DEP_{min} = 318,9 \text{ mm}$$

4.11.2 Elecció de les transmissions de forces.

Es considera utilitzar motors pas a pas per tal de controlar molt millor el moviment de la cadira i transmissions flexibles de tipus corretja dentada per tal d'evitar problemes de posicionament en possibles rrelliscades de la corretja.

Es realitzen càlculs bàsics de necessitats de parell del conjunt:

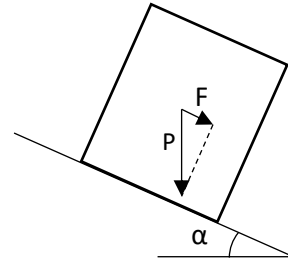
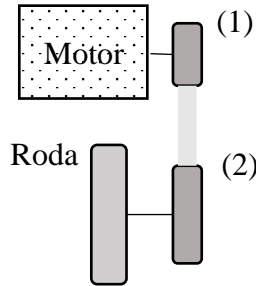


Figura 4.11-7: Diagrama dels elements de transmissió de forces, incloent la corretja entre les politges 1 i 2.

Figura 4.11-8: Esquema de força necessària en l'arrancada en la rampa.

$$\sin(\alpha) mg = 2\tau_{\max}^{\text{mot}} \cdot \frac{Z_1 t}{Z_2 t} \cdot \frac{2}{\phi_{\text{roda}}}$$

Equació 4.11-4: Equacions que regeix la transmissió de força.

Entenent que $\frac{Z_1 t}{Z_2 t} = 1$ i $\phi_{\text{roda}} = 80 \text{ mm}$:

$$\tau_{\max}^{\text{mot}} = 2,46 \text{ Nm}$$

On:

α = angle de la rampa ($9,62^\circ$)

m = massa del conjunt (75 kg).

g = constant de gravitació.

Z : nº dents politja.

t : pas

A continuació es dimensiona el sistema de politges i corretja dentada. A priori es tria una corretja dentada amb perfil mètric estàndard segons DIN 7721 i se'n analitzen les següents variants:

	AT3 (GENIII)	AT3	AT5 (GENIII)	AT5	T2.5	T5	T10
Pas (mm)	3	3	5	5	2,5	5	10
Fuspec (N/cm)	44,4	35,55	48,48	38,79	9,03	24	50,5
Muspec (Nm/cm)	2,12	1,7	3,86	3,09	0,359	1,91	8,04
Ful (6mm)	330	190	417	350	65	180	-
Ful (10mm)	599	380	787	700	117	330	-
Ful (16mm)	1002	646	1342	1260	195	570	1200
Ful (25mm)	1608	1102	2175	2030	321	930	2000

Figura 4.11-9: Paràmetres de les corretges dentades analitzades. Fuspec: força específica de la dent. Mespec: Parell específic. Ful: Tensió màxima de la corretja. S'indiquen els paràmetres per les amplades més usuals.

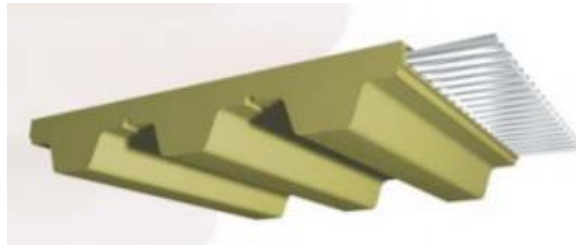


Figura 4.11-10: Fotografia que mostra el perfil del dentat de la corretja dentada escollida.

El sistema caldrà complir les següents relacions:

1. No es supera la tensió màxima permesa a la corretja "Ful".
2. No es supera la tensió màxima permesa en el conjunt de dents engranat.

$$F_u < F_{ul}$$

$$F_u < F_{uspec} \cdot Z_{eng} \cdot b$$

$$F_u = \frac{M_m \pi}{Z_1 t}$$

$$Z_{eng} = \left(\frac{Z_1}{2} - \frac{t \cdot Z_1}{2 \cdot \pi^2} \cdot \frac{Z_1 - Z_2}{DC} \right)$$

$$L_{corr} = 2DC + \frac{\pi}{2} (\phi_1^p + \phi_2^p) + \frac{(\phi_1^p - \phi_2^p)^2}{4DC}$$

$$\phi_n^p = \frac{Z_n t}{\pi}$$

On:

Fu: Tensió a la corretja.

Ful: Tensió màxima permesa a la corretja.

Fuspec: Tensió màxima permesa per dent per unitat d'amplada de la corretja.

Zeng: mínim nº de dents engranats entre la politja 1 o la 2.

b: Amplada de la corretja.

t: pas.

DC: Distància entre centres (74 mm).

ϕ_n^p : diàmetre primitiu de la politja.

Equació 4.11-5: Equacions relatives al dimensionament del sistema politges-corretja.

S'escull el següent conjunt:

Politja 1: 16 dents.

Politja 2: 24 dents.

Corretja de 250 mm de longitud i 16 mm d'amplada.

Queden verificades totes les condicions exigibles al sistema segons l'Equació 4.11-5.

La relació de reducció és major a 1 de manera que el sistema proporcionarà més parell que l'exigit segons l'Equació 4.11-4.

Pel que fa a les rodes es suposa que les cadires són carregades en el punt mig entre l'eix posterior i davanter del conjunt, de forma que la càrrega en cada una de les rodes serà:

$$C_{posterior} = 18,75 \text{ kgf}; C_{davantera} = 37,5 \text{ kgf}; C_{total} = 75 \text{ kgf}$$

S'ha escollit una roda de 80 mm de diàmetre, 40mm d'amplada i forat passant per posterior mecanitzat del xaveter de 12mm de diàmetre.

Altres paràmetres a tenir en compte per tal de triar el motor seran la distància de frenada o l'acceleració aconseguida. Primer de tot calcularem la inèrcia reduïda a la velocitat de la roda del sistema, en el treball s'ha comprovat que la inèrcia del sistema és pràcticament igual a únicament tenint en compte la massa movent-se a velocitat lineal, amb menys d'un 0,5 % d'error.

$$\frac{1}{2}m_t v^2 = \frac{1}{2}I_{red}\omega_r^2; v = \omega r$$

$$I_{red} = m_t \left(\frac{\phi_r}{2}\right)^2$$

Es considera $m_t = 75 \text{ kg}$; $\phi_r = 80 \text{ mm}$:

$$I_{red} = 0,12 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

És sabut que l'acceleració lineal i angular es relacionen de la següent manera:

$$a = \frac{\alpha \phi_r}{2}$$

I que:

$$M_{motor} = I_{red} i \alpha; i = \frac{Z_{pm}}{Z_{pc}}$$

A més, si considerem que el motor subministra parell constant, i per tant l'acceleració angular es manté constant, si considerem la velocitat inicial trobarem la distància de frenada completa de l'aparell:

$$e = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + e_0$$

$$e = 0,433 \text{ m}$$

Equació 4.11-6: Equacions relatives al càlcul de la inèrcia reduïda a la velocitat de la roda.

Segons es veu en l'Equació 4.11-6, es considera que l'aparell tindrà prou parell per tal d'efectuar una frenada amb prou eficàcia per ésser segura. Per tant es considera que no seran necessaris dispositius de frenat externs com frens magnètics o frens de tipus mecànic.

4.11.3 Elecció dels sensors

En el present projecte cal destacar dos possibles tipus de sensors que ofereixen la qualitat d'evitar obstacles:

- Sensors làser.
- Sensors d'ultrasons.

Comercialment s'han comparat els següents dos sensors:

- Sensor làser "VL53L0X": Té una distància màxima de detecció de fins a 2m. L'Àrea de detecció forma un con de 25°. Té un preu de 12,9€.
- Sensor d'ultrasons "HC-SR04": Té una distància màxima de detecció de fins a 2m. L'àrea de detecció forma un con de 15°. Té un preu de 2,13€.

Com es pot veure en la Figura 4.11-11, el més favorable a nivell de preu és utilitzar sensors d'ultrasons en la forma en que ho podem veure en la figura anteriorment mencionada.

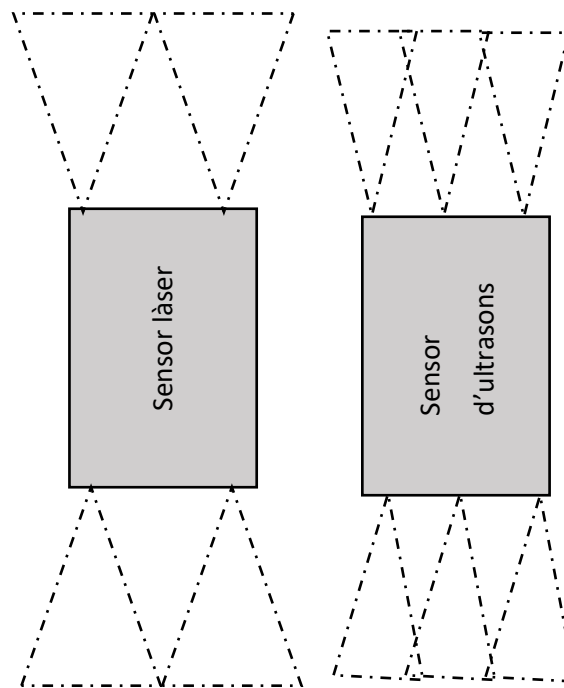


Figura 4.11-11: Figura que mostra el conjunt de la cadira de rodes, en l'esquema simbolitzat com rectangle gris i els cons de detecció dels dos tipus de sensors analitzats. És considerada vàlida la cobertura que eviti forats en tota l'amplada de la cadira a una distància d'1m.

Es considera que les fixacions seran pinces agafades a les barres dels reposapeus en els sensors davanters i pinces agafades en les barres posteriors o a les rodes mateixes (ja que estan anul·lades).

Es preveu que el programa pugui determinar de forma autònoma quants sensors té connectats per tal que l'usuari pugui efectuar moviment autònom amb per exemple només els dos sensor davanters.

4.11.4 Elecció de la placa electrònica

Caldrà tenir almenys el nombre de sortides/entrades necessàries per comunicar-se amb tots els elements descrits.

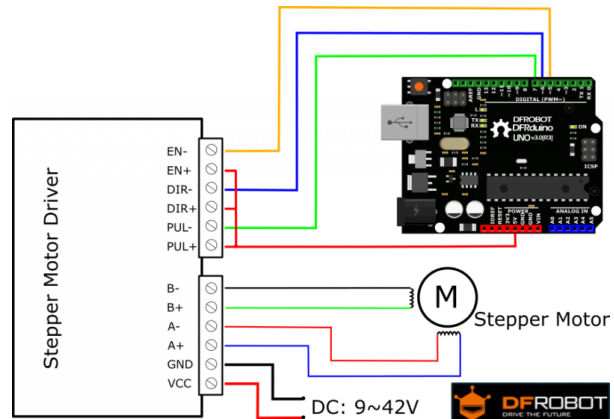
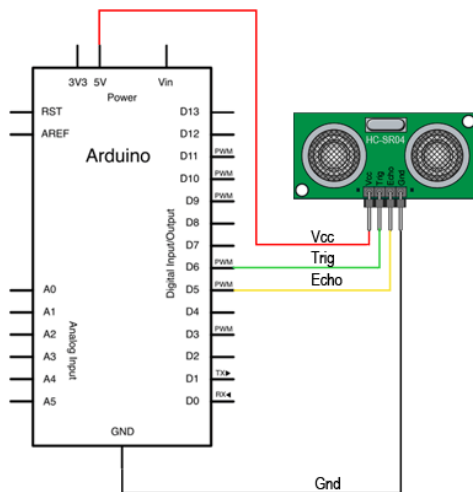


Figura 4.11-12: Esquema de connexió amb placa electrònica arduino amb el mòdul de sensor d'ultrasons HC-SR04.

Figura 4.11-13: Esquema de connexió amb placa electrònica arduino amb el driver del motor i un motor bipolar.

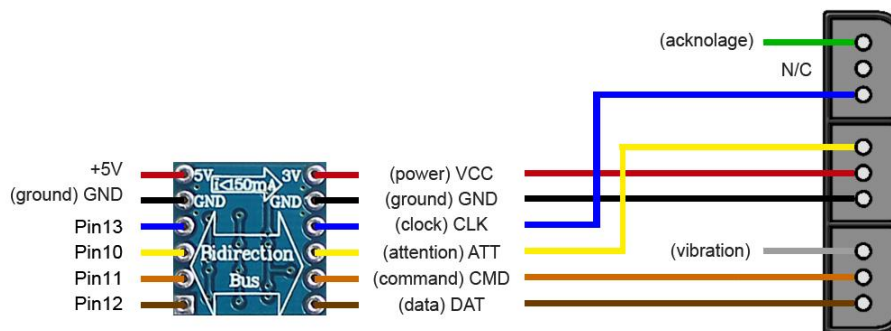


Figura 4.11-14: Esquema de connexió amb placa electrònica arduino amb el mòdul del comandament a distància.

Per tant caldrà les següents entrades/sortides:

Element	E/S PWM	E/S Digital	Quantitat	E/S PWM (total)	E/S Digital (total)
Driver del motor	0	3	2	0	6
Sensor d'ultrasons	1	1	6	6	6
Selector de modes	0	4	1	0	4
Leds indicatius de mode	0	1	4	0	5
Comandament a distància	2	1	1	2	1
Pulsador adaptat	0	1	1	0	1
-	-	-	Totals	8	23

S'ha escollit una placa electrònica Arduino Mega per tal de deixar lliure algunes sortides per tal de futurs ampliacions de funcionalitat.

4.11.5 Elecció de les bateries

El motor té un consum aproximat màxim de 4A. Entenent que en el cicle de treball estarà frenant o arrancant un 40% del temps i la resta del temps funcionarà al 30% de la càrrega màxima. Es negligeix el consum de la resta de components.

$$I_{mitja} = 4 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,3 \cdot 0,6 = 2,32 \text{ A}$$

$$C_{bat} = I_{mitja} \cdot 2 \cdot Aut (h)$$

Si considerem una autonomia de 2,5h:

$$C_{bat} = I_{mitja} \cdot 2 \cdot Aut (h) = 11,6 \text{ Ah}$$

Equació 4.11-7: Equacions relatives al dimensionament de les bateries.

Es decideix utilitzar dos bateries de plom àcid de 12V i 12Ah.

4.12 Disseny Final

En el projecte s'ha utilitzat el software de disseny paramètric en 3D "Creo Parametric 3.0 M110" de PTC. S'ha utilitzat per preveure possibles interaccions amb components, relacionar les cotes i comprovar la viabilitat de totes les eleccions de tipus mecànic o estructural. En la Figura 4.12-1 es mostra la distribució interna de l'aparell:

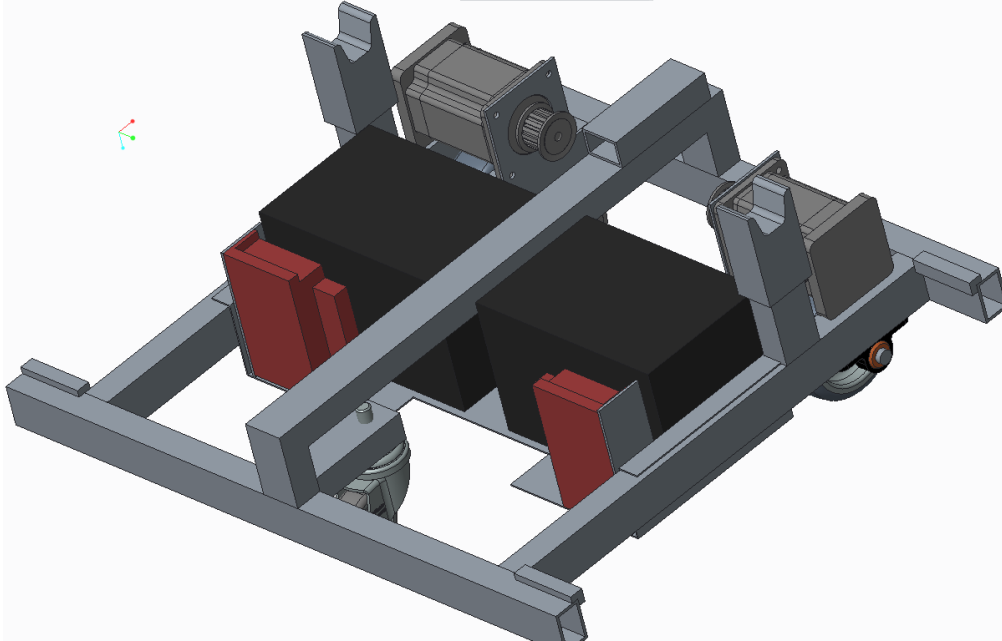


Figura 4.12-1: Visualització en 3D de la distribució interna de l'aparell.

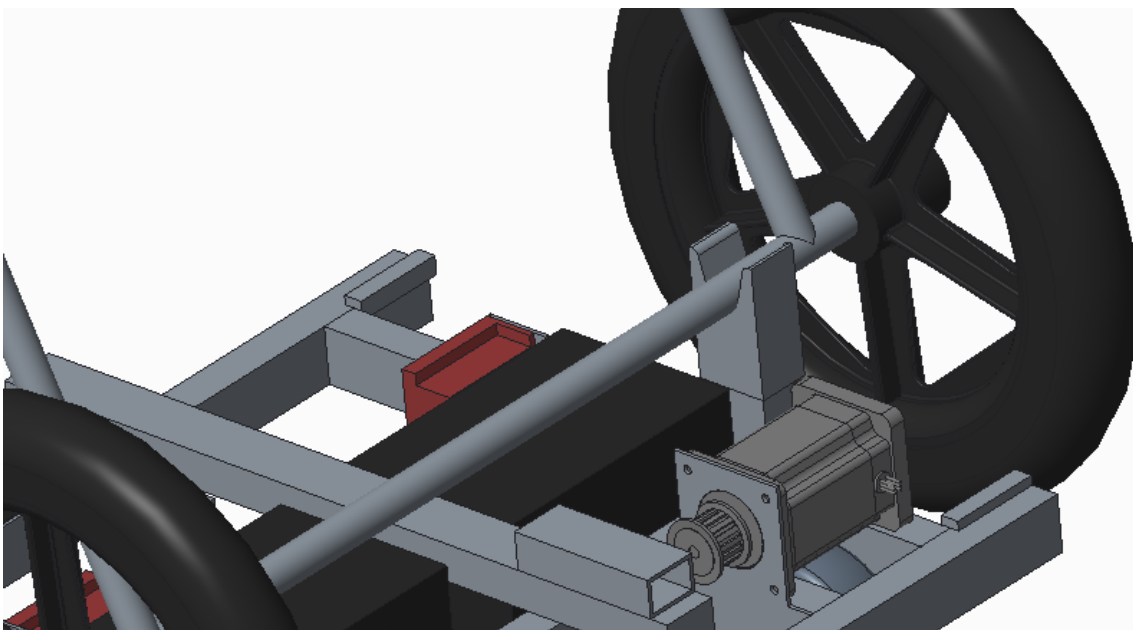


Figura 4.12-2: Visualització en 3D de la fixació amb els models de cadira Rehatom i Ottobock.

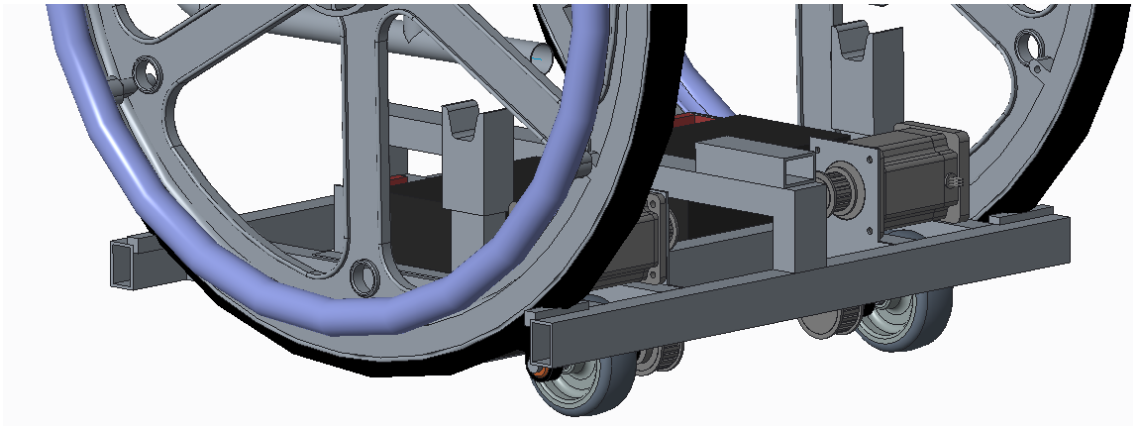


Figura 4.12-3: Visualització en 3D de fixació amb les rodes de la cadira Invacare.

Tots els elements requerits per aconseguir els objectius són continguts en l'interior de l'aparell a excepció dels sensors d'ultrasons que s'ha considerat que vagin col·locats dintre de caixes d'empalmes comercials i amb pinces per tal de fixar-los en les barres dels reposapeus o on es consideri més adequat. Aquesta assumptió s'ha efectuat per tal d'aconseguir que moltes més cadires que les considerades en el present disseny fossin aptes per a la motorització.

Per tant en el muntatge caldrà col·locar els sensor en les barres de la cadira adequades i connectar els sensor amb els cables pertinents mitjançant els latiguillos previstos.

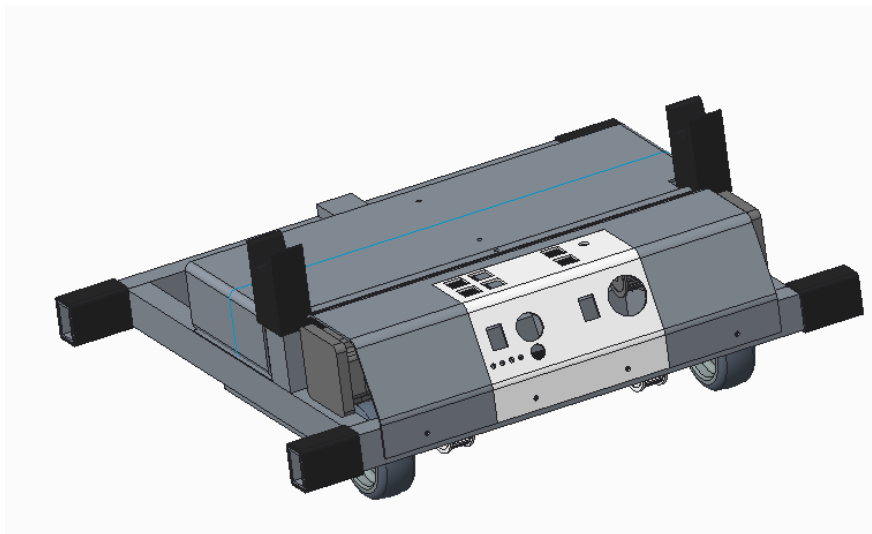


Figura 4.12-4: Visualització en 3D del disseny complet incloses les tapes exteriors de protecció exterior d'alumini.

5. ANNEXES

5.1 Càlculs d'esforços de les barres.

5.1.1 Reaccions en la Invacare

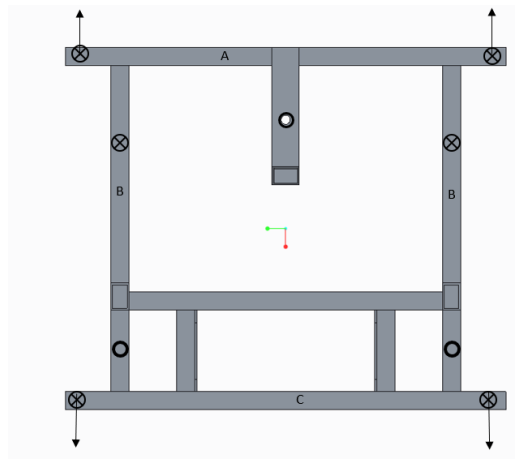


Figura 5.1-1: Reaccions amb l'aparell carregant la cadira de rodes Invacare. Les fletxes indiquen la direcció de les reaccions en el pla, les aspes simbolitzen reacció en direcció normal al pla i en sentit allunyant-se del lector i del pla, les rodones buides indiquen la mateixa direcció i sentit apropant-se al lector.

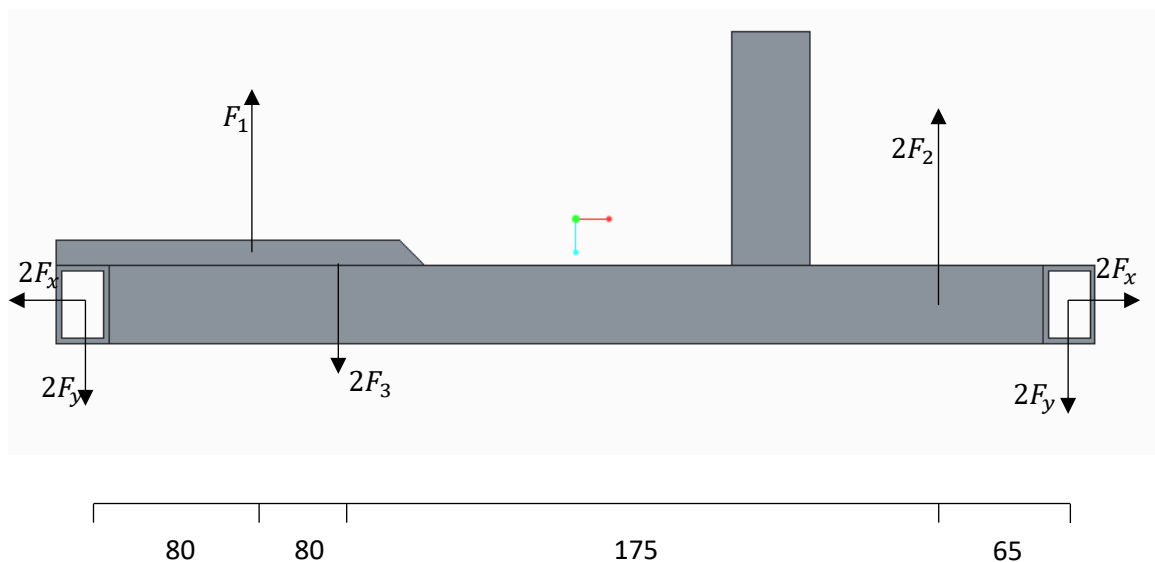


Figura 5.1-2: Esquema del conjunt de forces externes s'utilitza per calcular les reaccions amb la cadira Invacare muntada sobre l'aparell.

$$\sum F_x = 0; \quad 4F_y + 2F_3 - 2F_2 - F_1 = 0$$

$$4F_y = 0,7 \cdot 9,81 \cdot 75$$

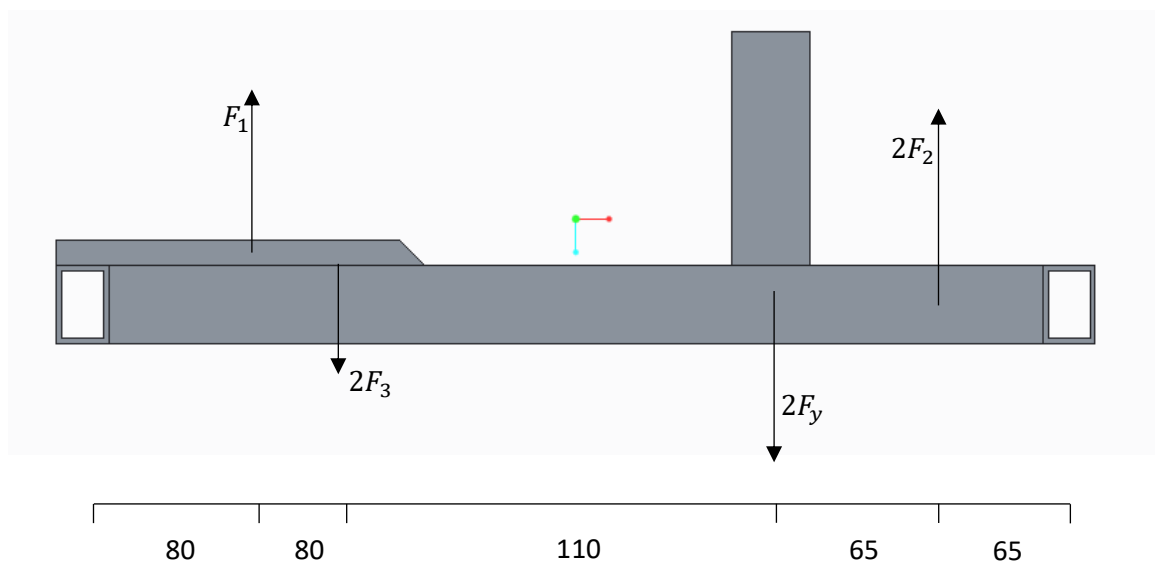
$$2F_3 = (2 \cdot 3,5 + 2 \cdot 0,3) \cdot 9,81$$

$$\sum M_0 = 0; \quad F_1 \cdot 80 - 2F_3(80 + 80) + 2F_2(175 + 80 + 80) - 2F_y(80 + 80 + 175 + 65) = 0$$

$$F_1 = 323,8; \quad F_2 = 132,9; \quad F_3 = 37,28; \quad F_y = 128,8 \text{ (N)}$$

Figura 5.1-3: Anàlisi estàtic de l'aparell per tal de calcular les reaccions normals. Es considera el 70% del pes total de la cadira recolzant-se sobre l'aparell i en pla. Es considera només el pes de les bateries i els controladors del motor.

5.1.2 Reaccions en la Ottobock – Rehatom



$$\sum F_x = 0; \quad 2F_y + 2F_3 - 2F_2 - F_1 = 0$$

$$2F_y = 0,7 \cdot 9,81 \cdot 75$$

$$2F_3 = (2 \cdot 3,5 + 2 \cdot 0,3) \cdot 9,81$$

$$\sum M_0 = 0; \quad F_1 \cdot 80 - 2F_3(80 + 80) + 2F_2(175 + 80 + 80) - 2F_y(80 + 80 + 110) = 0$$

$$F_1 = 182,4; \quad F_2 = 203,6; \quad F_3 = 37,28; \quad F_y = 257,5 \text{ (N)}$$

Figura 5.1-4: Anàlisi estàtic de l'aparell per tal de calcular les reaccions normals. Es considera el 70% del pes total de la cadira recolzant-se sobre l'aparell i en pla. Es considera només el pes de les bateries i els controladors del motor.

5.1.3 Càlcul d'esforços Invacare

5.1.3.1 Barra A (Invacare)

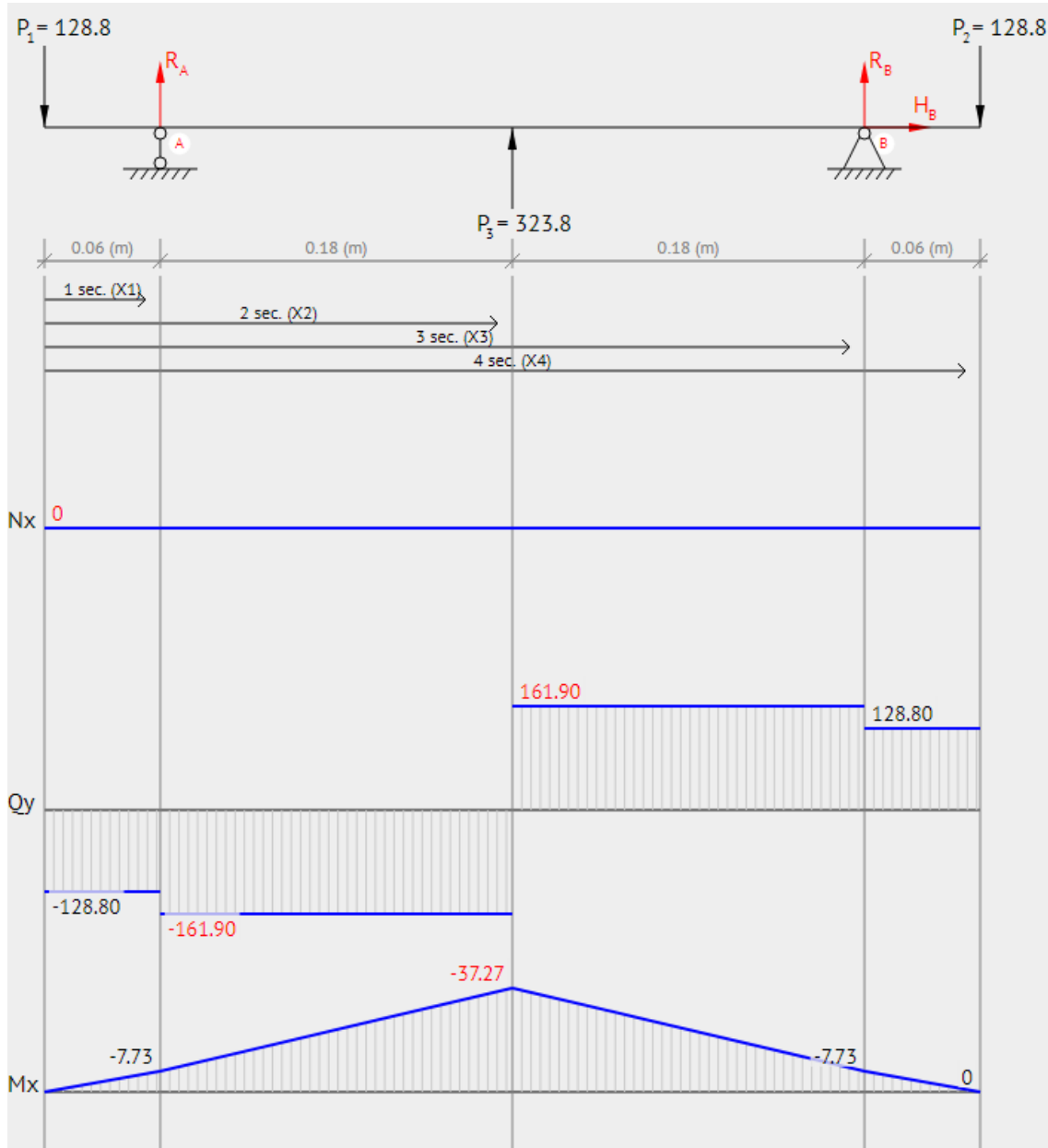


Figura 5.1-5: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra A mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.

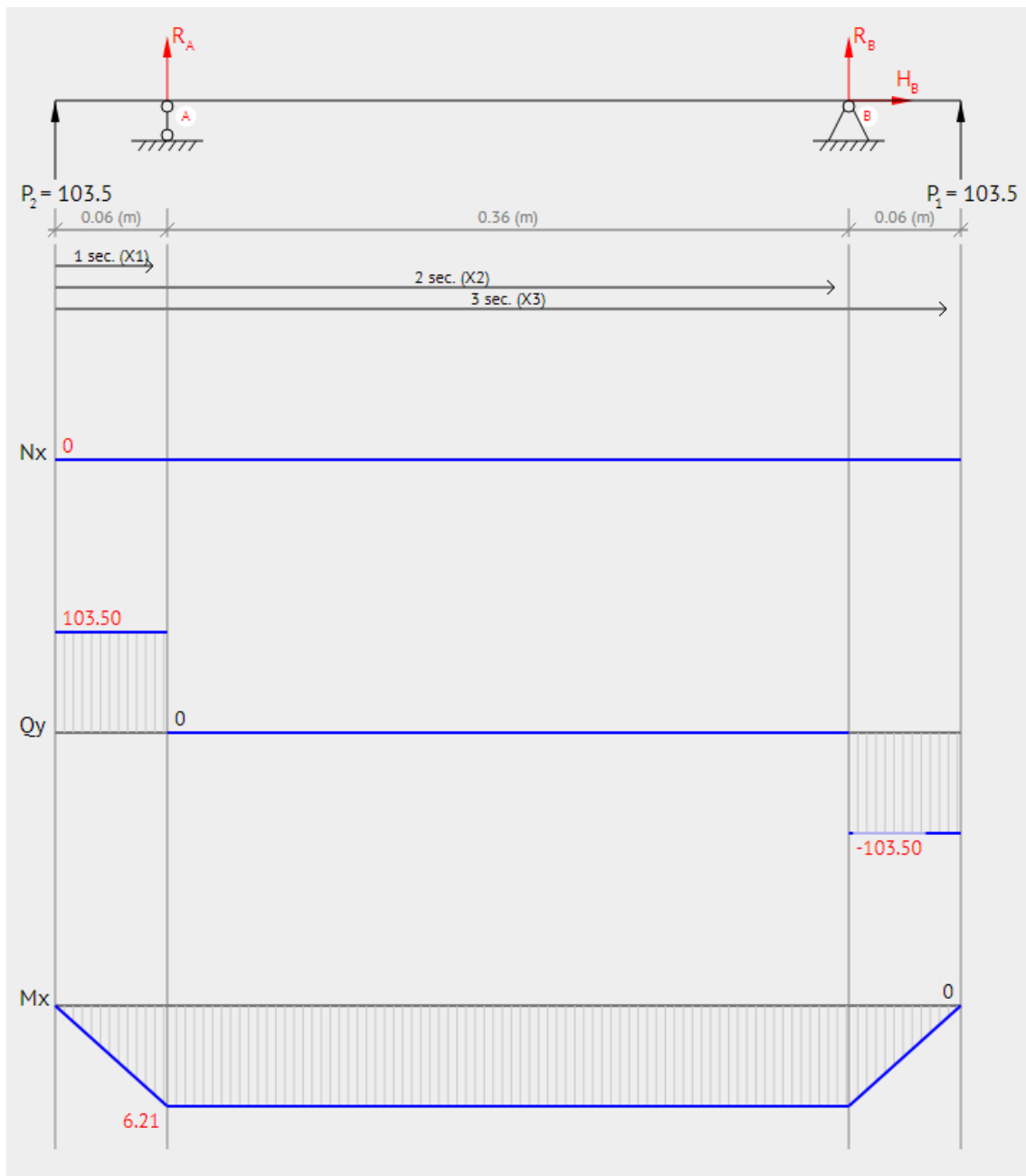


Figura 5.1-6: Diagrama d'esforços de les forces horitzontals de la barra A mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.

Si considerem que en la barra A hi existirà moment torçor en tota la barra i que de valor serà:

$$M_t = F_1 * 80/2 = 13 Nm$$

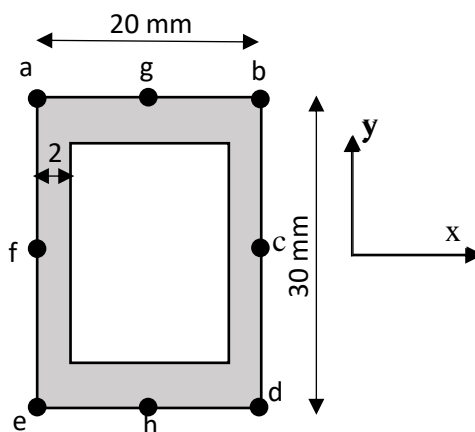


Figura 5.1-7: Esquema del perfil utilitzat i dels punts on s'ha efectuat anàlisi de tensions equivalents de Von Misses.

Punt	A	B	C	D	E	F	G	H
A (Àrea)	184	184	184	184	184	184	184	184
Cx (Pos. Hortit.)	15	15	0	-15	-15	0	15	-15
Cy (Pos. Vert.)	-10	10	10	10	-10	-10	0	0
Ix (moment d'inèrcia respecte eix x).	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3
Iy (Moment d'inèrcia resp. Eix y)	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3
J (moment polar)	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7
Sx (momento estàtic)	0	0	898	0	0	898	0	0
Sy (Momento estàtic)	0	0	0	0	0	0	668	668
Axil (Mpa)	0	0	0	0	0	0	0	0
Flector Fx (Mpa)	-5,58	5,58	5,58	5,58	-5,58	-5,58	0,00	0,00
Tallant Fx (Mpa)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Flector Fy (Mpa)	-25,92	-25,92	0,00	25,92	25,92	0,00	-25,92	25,92
Tallant Fy (Mpa)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,25
Torsió (Mpa)	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97
TVM (Mpa)	33,16	22,82	11,74	33,16	22,82	11,74	27,91	27,91
TVM'(Mpa)	49,73	34,22	17,61	49,73	34,22	17,61	41,86	41,86

Figura 5.1-8: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra A més desfavorable considerat. El punt mig.

5.1.3.2 Barra B (Invacare)

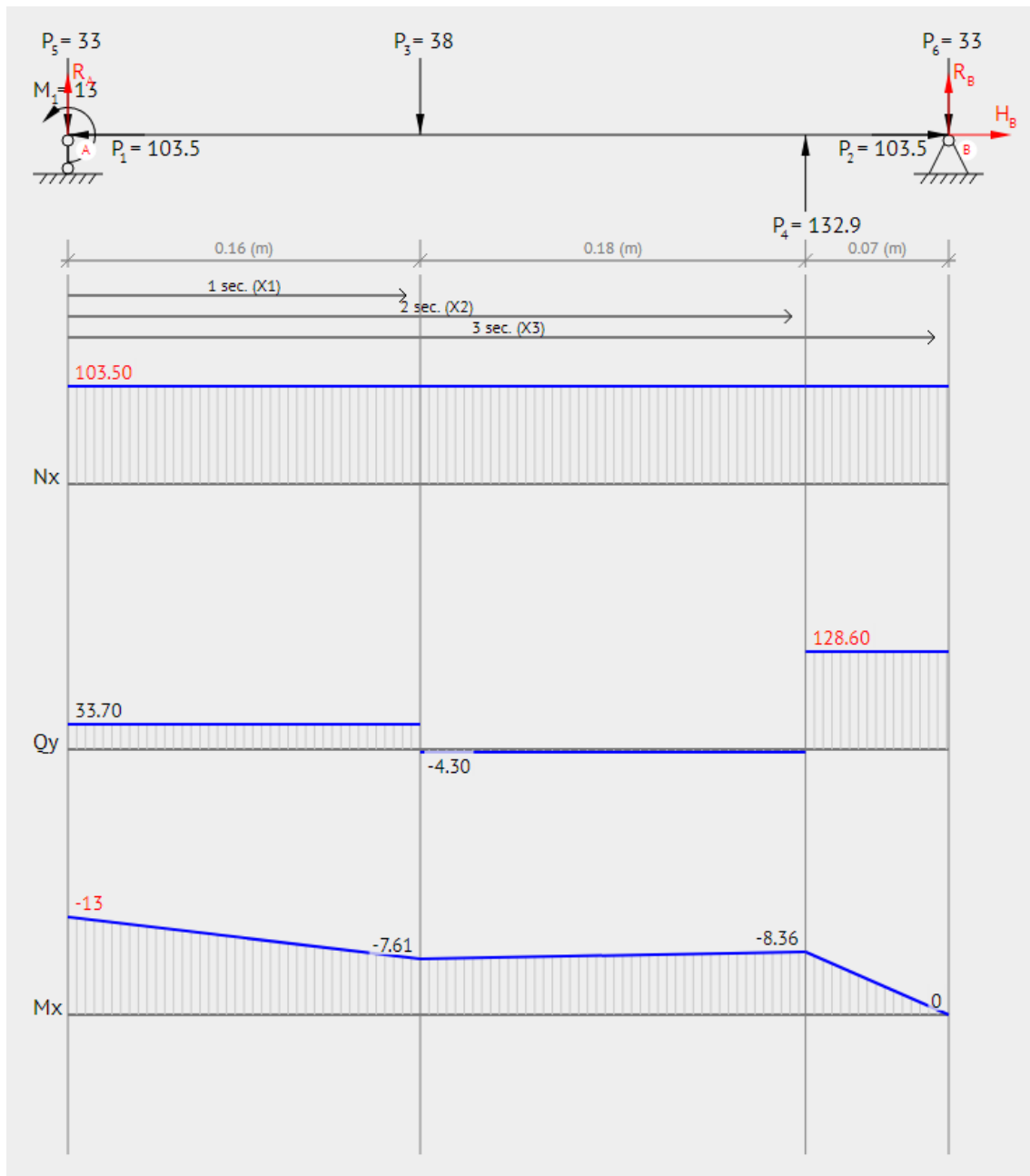


Figura 5.1-9: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra B mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.

Punt	A	B	C	D	E	F	G	H
A (Àrea)	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0
Cx (Pos. Hortit.)	15,0	15,0	0,0	-15,0	-15,0	0,0	15,0	-15,0
Cy (Pos. Vert.)	-10,0	10,0	10,0	10,0	-10,0	-10,0	0,0	0,0
Ix (moment d'inèrcia respecte eix x).	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3
Iy (Moment d'inèrcia resp. Eix y)	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3
J (moment polar)	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7
Sx (momento estàtic)	0,0	0,0	898,0	0,0	0,0	898,0	0,0	0,0
Sy (Moment estàtic)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	668,0	668,0
Axil (Mpa)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Flector Fx (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tallant Fx (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Flector Fy (Mpa)	-13,6	-13,6	0,0	13,6	13,6	0,0	-13,6	13,6
Tallant Fy (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3
Torsió (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TVM (Mpa)	12,7	12,7	0,8	14,4	14,4	0,8	12,7	14,4
TVM'(Mpa)	19,1	19,1	1,3	21,6	21,6	1,3	19,1	21,6

Figura 5.1-10: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra B és desfavorable considerat. El punt de màxim parell.

5.1.3.3 Barra C (Invacare)

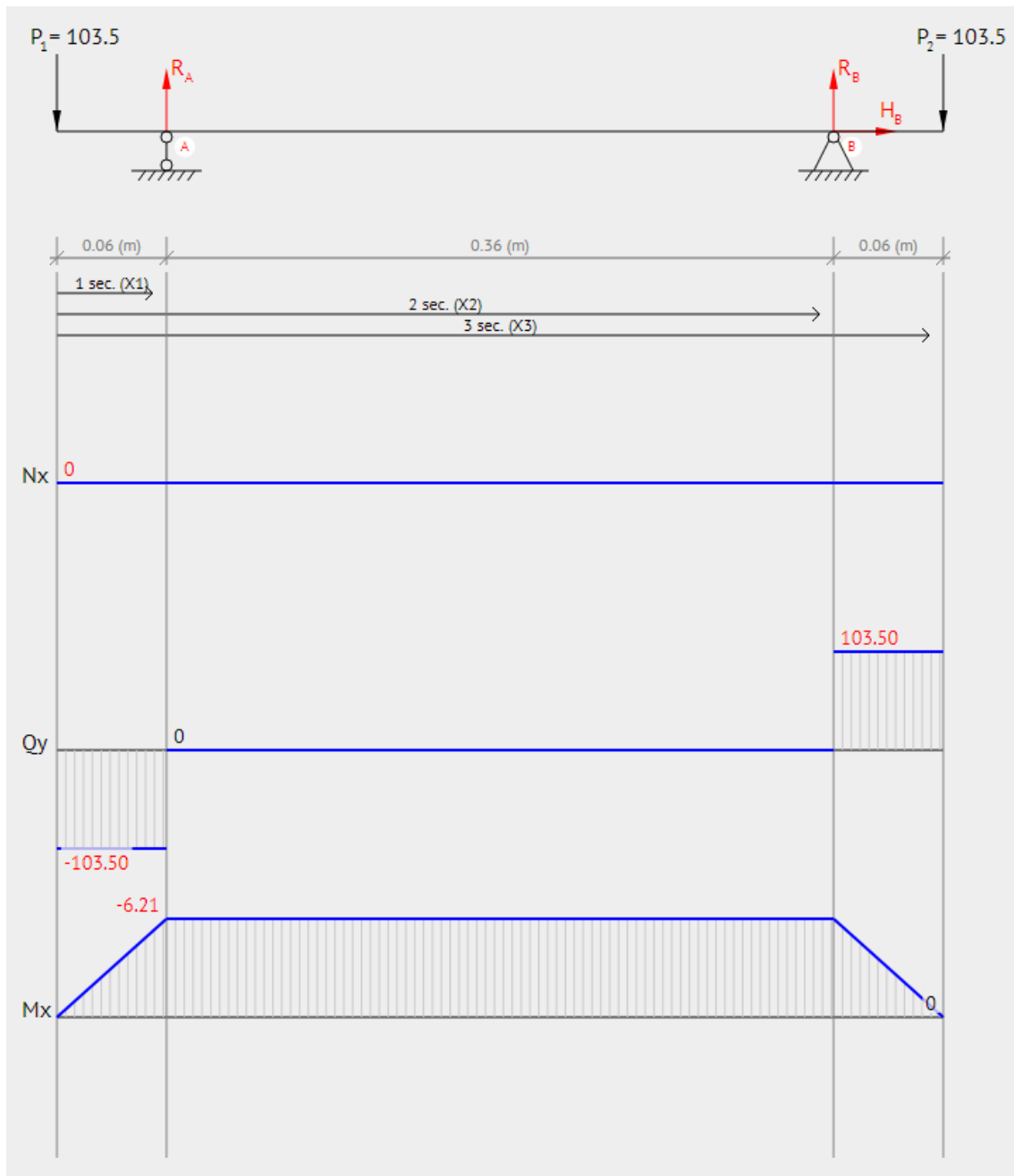


Figura 5.1-11: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra C mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.

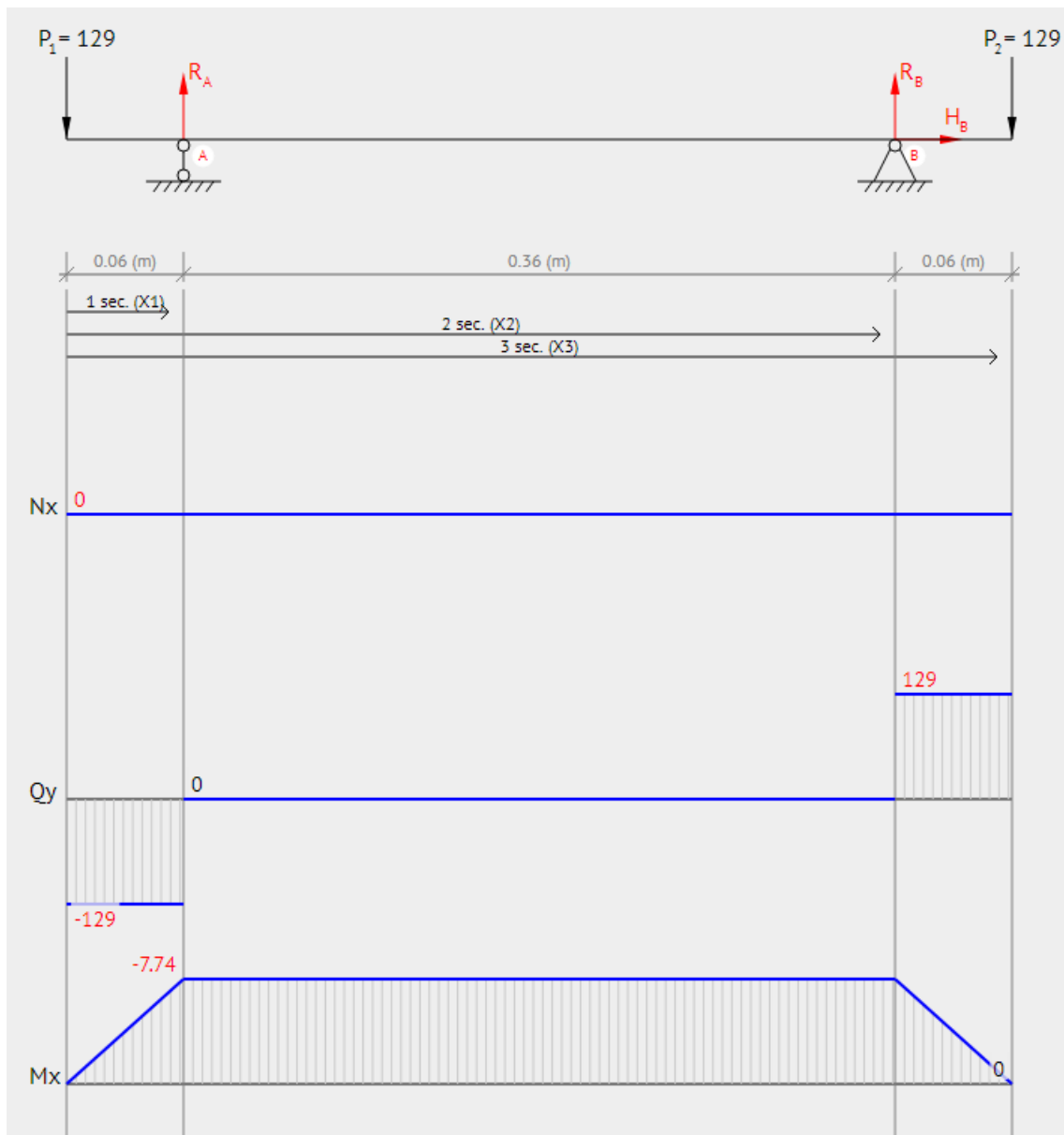


Figura 5.1-12: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra C mentre la cadira Invacare està muntada en l'aparell.

Punt	A	B	C	D	E	F	G	H
A (Àrea)	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0
Cx (Pos. Hortit.)	15,0	15,0	0,0	-15,0	-15,0	0,0	15,0	-15,0
Cy (Pos. Vert.)	-10,0	10,0	10,0	10,0	-10,0	-10,0	0,0	0,0
Ix (moment d'inèrcia respecte eix x).	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3
Iy (Moment d'inèrcia resp. Eix y)	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3
J (moment polar)	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7
Sx (momento estàtic)	0,0	0,0	898,0	0,0	0,0	898,0	0,0	0,0
Sy (Moment estàtic)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	668,0	668,0
Axil (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Flector Fx (Mpa)	8,4	-8,4	-8,4	-8,4	8,4	8,4	0,0	0,0
Tallant Fx (Mpa)	0,0	0,0	-0,6	0,0	0,0	-0,6	0,0	0,0
Flector Fy (Mpa)	-8,1	-8,1	0,0	8,1	8,1	0,0	-8,1	8,1
Tallant Fy (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,3
Torsió (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TVM (Mpa)	0,3	16,4	8,4	0,3	16,4	8,4	8,1	8,1
TVM' (Mpa)	0,4	24,7	12,7	0,4	24,7	12,7	12,1	12,1

Figura 5.1-13: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra C més desfavorable considerat. El punt on es troba el primer recolzament.

5.1.4 Càlcul d'esforços Rehatom

5.1.4.1 Barra A (Rehatom)

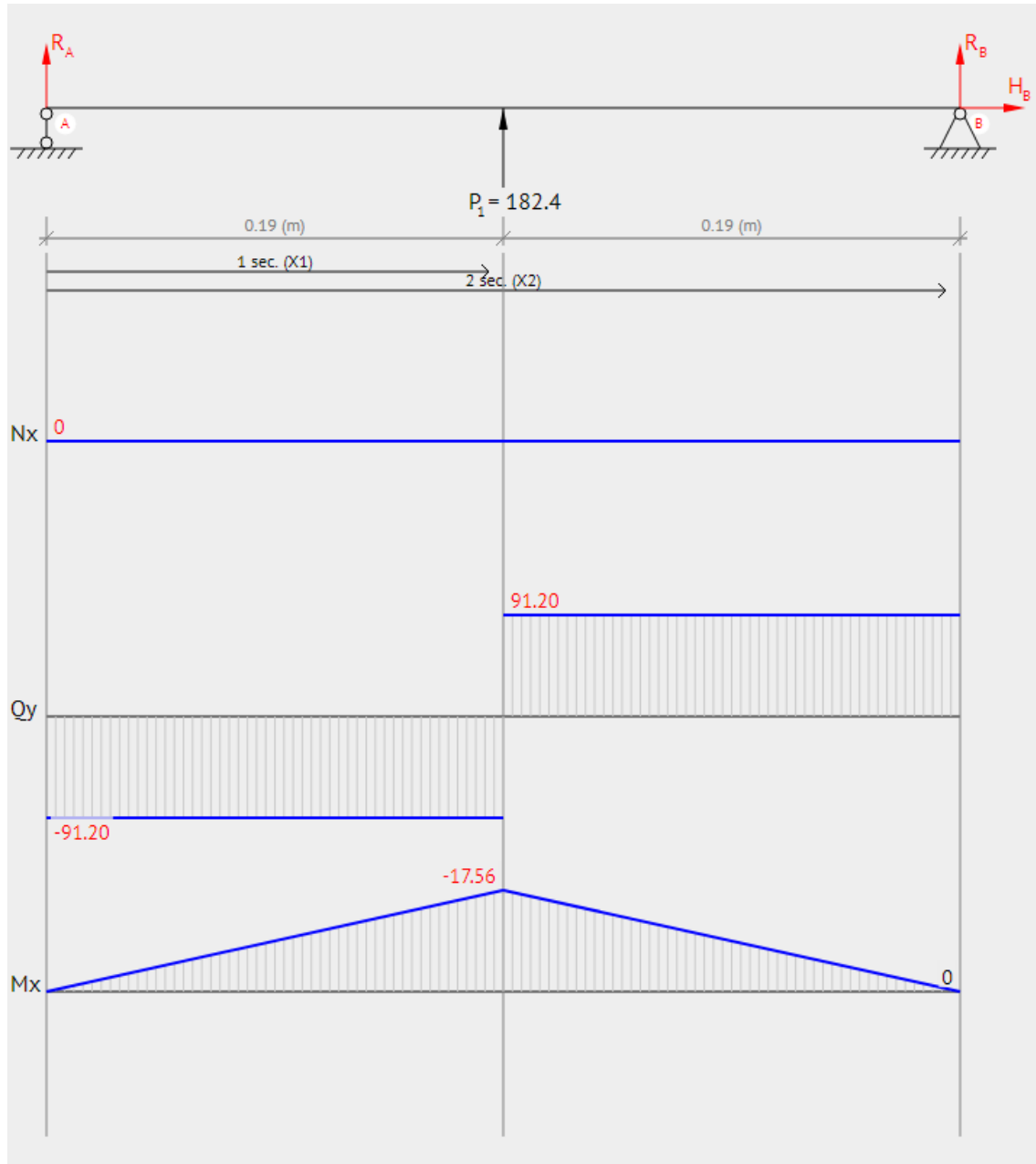


Figura 5.1-14: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra A mentre la cadira Rehatom està muntada en l'aparell.

Si considerem que en la barra A hi existirà moment torçor en tota la barra i que de valor serà:

$$M_t = F_1 * 80/2 = 13 \text{ Nm}$$

Punt	A	B	C	D	E	F	G	H
A (Àrea)	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0	96,0
Cx (Pos. Hortit.)	15,0	15,0	0,0	-15,0	-15,0	0,0	15,0	-15,0
Cy (Pos. Vert.)	-10,0	10,0	10,0	10,0	-10,0	-10,0	0,0	0,0
Ix (moment d'inèrcia respecte eix x).	12072,0	12072,0	12072,0	12072,0	12072,0	12072,0	12072,0	12072,0
Iy (Moment d'inèrcia resp. Eix y)	6392,0	6392,0	6392,0	6392,0	6392,0	6392,0	6392,0	6392,0
J (moment polar)	18464,0	18464,0	18464,0	18464,0	18464,0	18464,0	18464,0	18464,0
Sx (momento estàtic)	0,0	0,0	486,0	0,0	0,0	486,0	0,0	0,0
Sy (Moment estàtic)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	366,0	366,0
Axil (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Flector Fx (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tallant Fx (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Flector Fy (Mpa)	-32,7	-32,7	0,0	32,7	32,7	0,0	-32,7	32,7
Tallant Fy (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,2
Torsió (Mpa)	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
TVM (Mpa)	42,7	42,7	27,4	42,7	42,7	27,4	42,7	42,7
TVM'(Mpa)	64,1	64,1	41,2	64,1	64,1	41,2	64,1	64,1

Figura 5.1-15: Anàlisis de tensions equivalents en el punt de la barra A més desfavorable considerat. El punt mig.

5.1.4.2 Barra B (Rehatom)

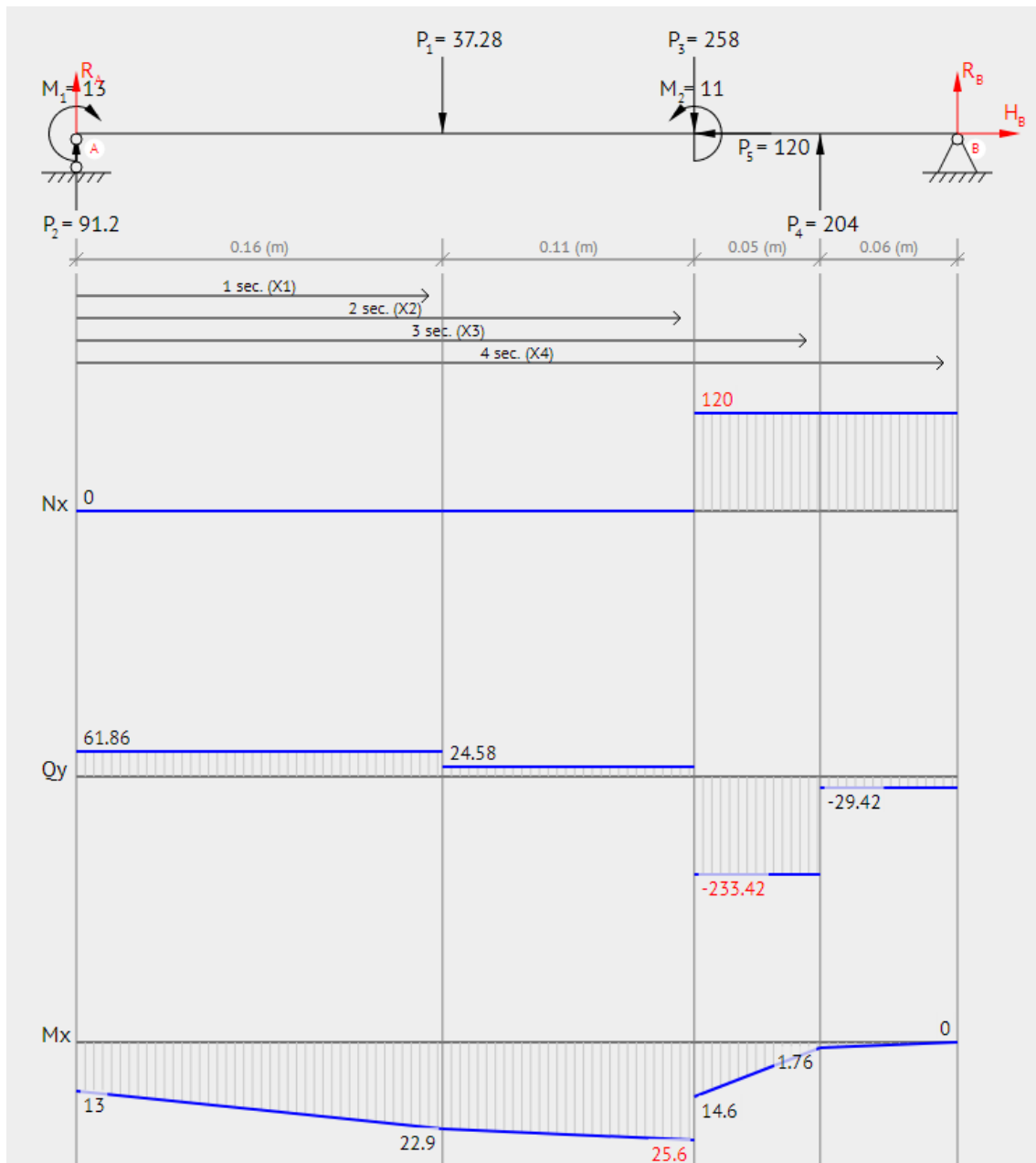


Figura 5.1-16: Diagrama d'esforços de les forces verticals de la barra B mentre la cadira Rehatom està muntada en l'aparell.

Punt	A	B	C	D	E	F	G	H
A (Àrea)	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0	184,0
Cx (Pos. Hortit.)	15,0	15,0	0,0	-15,0	-15,0	0,0	15,0	-15,0
Cy (Pos. Vert.)	-10,0	10,0	10,0	10,0	-10,0	-10,0	0,0	0,0
Ix (moment d'inèrcia respecte eix x).	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3	21565,3
Iy (Moment d'inèrcia resp. Eix y)	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3	11125,3
J (moment polar)	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7	32690,7
Sx (momento estàtic)	0,0	0,0	898,0	0,0	0,0	898,0	0,0	0,0
Sy (Moment estàtic)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	668,0	668,0
Axil (Mpa)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Flector Fx (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tallant Fx (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Flector Fy (Mpa)	26,7	26,7	0,0	-26,7	-26,7	0,0	26,7	-26,7
Tallant Fy (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-0,5
Torsió (Mpa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TVM (Mpa)	27,7	27,7	1,0	25,7	25,7	1,0	27,7	25,7
TVM'(Mpa)	41,5	41,5	1,5	38,6	38,6	1,5	41,6	38,6

Figura 5.1-17: Anàlisi de tensions equivalents en el punt de la barra B més desfavorable considerat. El punt $x=0,27$ m.

6. ESTAT D'AMIDAMENTS

nº Element	nº Plànol	Ref./Denominació de l'element	Quantitat	Unitats
1	4/30	BARRA_A	1	U
2	5/30	BARRA_APP	1	U
3	6/30	BARRA_B	2	U
4	7/30	BARRA_C	1	U
5	8/30	BARRA_PES_REHATOM	2	U
6	9/30	BARRA_PETITA	2	U
7	10/30	BARRA_PROTE_A	1	U
8	11/30	BARRA_PROTE_B	1	U
9	12/30	BARRA_PROTE_C	1	U
10	13/30	BARRARODABOJA	1	U
11		Rosca Remachable Ø4mm	9	U
12		Rosca Remachable Ø5mm	8	U
13		Cargol M4 x 20	9	U
14		Cargol M5 x 25	8	U
15	14/30	SUPPORT_MOTOR	2	U
16	15/30	TAPA_A	1	U
17	16/30	TAPA_C	1	U
18	17/30	TAPA_D	1	U
19	18/30	XAPA_PORTA_ELEMENTS	1	U
20	19/30	RODA BOJA	1	U
21	20/30	T_D_PANEL	1	U
22	21/30	RODA_MOTRIU	2	U
23	22/30	EIX	2	U
24	23/30	1_MOTRIU_POLITJA24	2	U
25	24/30	MOTOR_PAP	2	U
26	25/30	1_MOTRIU_POLITJA16	2	U
27		Corretja dentada: pas, longitud i amplada resp: 5, 255, 16mm	2	U
28	26/30	DRIVER_MOTOR	2	U
29	27/30	BATERIA	2	U
30	28/30	GOMA_REHATOM	2	U
31	29/30	COIXINET	4	U
32	30/30	GOMA_INVACARE	4	U
33		Latiguillo Mascle-Mascle RJ9 (o superior) de 2,5m de longitud.	6	U
34		Interruptor ON/OFF 21x15x14mm 10A 250 VAC 2P vermell	1	U
35		Interruptor ON/OFF 21x15x14mm 10A 250 VAC 2P verd	1	U
36		Interruptor rotatiu 3 posicions muntatge frontal IP67	1	U
37		Boto d'emergència de cap rodó, vermell retorn giratori, 30mm.	1	U

38	Connector femella RJ11 muntatge passant.	6	U
39	Connector Jack 3,5mm muntatge en panel vertical	2	U
40	LED verd 2V 5mm. Inclou moldura per instal·lació en panel.	4	U
41	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , gris.	2	m
42	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , verd.	2	m
43	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , vermell.	2	m
44	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , marró.	2	m
45	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , blau.	2	m
46	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , groc.	2	m
47	Pinça per tub de 18 a 25mm	6	U
48	Caixa d'empalmes de 80x80mm	6	U
49	Sensor d'ultrasons HC-SR04	6	U
50	Placa electrònica Arduino Mega	1	U
51	Mando inalàmbric per PS 2 bluetooth.	1	U

7. PLEC DE CONDICIONS TÈCNIQUES

7.1 Condicions Tècniques i Especificacions dels Materials

7.1.1 Perfils normalitzats d'Alumini 6061 T6

S'utilitzen perfils normalitzat d'alumini de 30x20 i 2mm d'espessor per alguns elements que componen el bastidor. El material té les següents característiques:

Composició química:

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Altres elements	Al
Mínim	0,4		0,15		0,8	0,04				
Màxim	0,8	0,7	0,4	0,15	1,2	0,35	0,25	0,15	0,15	La resta

Propietats mecàniques:

Estat	Càrrega de ruptura Rm. N/mm ²	Límit elàstic Rp 0,2, N/mm ²	Allargament A 5,65%	Límit a la fatiga N/mm ²	Resistència a la cisalladura τ N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
T6	310	270	14	190	190	95

Propietats Físiques:

Mòdul elàstic N/mm ²	Pes específic g/cm ³	Interval de fusió °C	Coefficient de dilatació lineal 1/10 ⁶ K	Conductivitat tèrmica W/m K	Resistivitat elèctrica a 20°C - $\mu\Omega$ cm	Conductivitat elèctrica % IACS)	Potencial de dissolució V
70	2,70	580-650	23,3	166	4,0	43	-0,83

Radis de plegat:

0,4<e<0,8 mm	0,8<e<1,6 mm	1,6<e<3,2 mm	3,2<e<4,8 mm	4,8<e<6 mm	6<e<10 mm	10<e<12 mm
1,5	2,5	3,5	3,5	4	4,5	5
<i>Multiplicar els anteriors coeficients per espessor de la xapa.</i>						

Tractament tèrmic:

Tractament de posada en solució T ^º C	Mitjà de templat	Tractaments de maduració artificial. Manteniment a T ^º en hores	Maduració natural
530 ^º C ± 5 ^º C	-	8 horas a 175 ^º ± 5 ^º C ó 6 horas a 185 ^º ± 5 ^º C	-

** Interval de temperatura de forja: 350^º – 500^ºC, Recuit total: 420^ºC, amb refredament lent fins 250^ºC, recuit contra acritud: 340^ºC.

Es subministraran els perfils tallats segons plànols i amb absència de defectes detectables visualment.

7.1.2 Rosca remachable Ø4mm

S'utilitzen rosques remarcables de cap reduït per a les fixacions entre els perfils d'alumini i la xapa. Aquests elements tenen les següents característiques:

Utilització: Permetran la instal·lació de l'element en perfils d'alumini d'espessor 2mm segons el fabricant.

Material: Acer C4C UNE-EN 10263-2 (1.0303), zincat ≥ 5 µm.

Geometria: Mètrica M4, longitud total nominal 10, espessor del cap 0,8mm.

Càrregues recomanades: (Segons fabricant). Tracció 6,47kN; tallant 1,56 kN; Parell 4Nm.

El forat a fer en el perfil és de Ø6mm.

7.1.3 Rosca remachable Ø5mm

S'utilitzen rosques remarcables de cap reduït per a les fixacions entre els perfils d'alumini i la xapa. Aquests elements tenen les següents característiques:

Utilització: Permetran la instal·lació de l'element en perfils d'alumini d'espessor 2mm segons el fabricant.

Material: Acer C4C UNE-EN 10263-2 (1.0303), zincat ≥ 5 µm.

Geometria: Mètrica M5, longitud total nominal 11,5, espessor del cap 0,8mm.

Càrregues recomanades: (Segons fabricant). Tracció 9,02 kN; tallant 2,15 kN; Parell 5Nm.

El forat a fer en el perfil és de Ø7mm.

7.1.4 Cargol M4 x 20mm

S'utilitzen cargols M4x20mm per a les unions de les xapes amb els perfils que conformem el bastidor:

Material: Acer classe 4.8 UNE EN ISO 898-1. Recobriments: zincat $\geq 5 \mu\text{m}$ s/ISO 4042.

Geometria: Segons DIN-84, $\varnothing 7\text{mm}$ de cap, 2,6mm espessor del cap rosca M4.

7.1.5 Cargol M5 x 25mm

S'utilitzen cargols M5x25mm per a les unions dels coixinets amb els perfils corresponents.

Material: Acer classe 4.8 UNE EN ISO 898-1. Recobriments: zincat $\geq 5 \mu\text{m}$ s/ISO 4042.

Geometria: Segons DIN-84, $\varnothing 8,5\text{mm}$ de cap, 3,3mm espessor del cap rosca M5.

7.1.6 Alumini

S'utilitzen planxes d'alumini pur per al conformat de les diferents planxes requerides en el disseny. Aquest material té la designació 1050H24 i les següents característiques:

Composició química:

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Altres elements	Al
Mínim										
Màxim	0,25	0,4	0,05	0,05	0,05	-	0,07	0,05	0,03	99,5

Propietats mecàniques:

Estat	Càrrega de ruptura Rm. N/mm ²	Límit elàstic Rp 0,2, N/mm ²	Allargament A 5,65%	Límit a la fatiga N/mm ²	Resistència a la cisalladura τ N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
H24	100	105	10	70	70	35

Propietats Físiques:

Mòdul elàstic N/mm ²	Pes específic g/cm ³	Interval de fusió °C	Coefficient de dilatació lineal 1/10 ⁶ K	Conductivitat tèrmica W/m K	Resistivitat elèctrica a 20°C - $\mu\Omega$ cm	Conductivitat elèctrica % IACS)	Potencial de dissolució V
69	2,7	646-657	23,5	229	2,9	59,5	0,84

Radis de plegat:

0,4<e<0,8 mm	0,8<e<1,6 mm	1,6<e<3,2 mm	3,2<e<4,8 mm	4,8<e<6 mm	6<e<10 mm	10<e<12 mm
0	0,5	1	1	2	2,5	2,5
<i>Multipliar els anteriors coeficients per espessor de la xapa.</i>						

Tractament tèrmic:

Interval de temperatura de forja: 350° - 500°C

Recuit total: 340°C.

Recuit parcial: 240°C

7.1.7 Roda Boja

S'utilitza una roda boja pel disseny. Aquesta té les següents característiques:

Utilització: Roda boja giratòria amb fixació mitjançant espiga roscada. La banda de rodadura és de goma termoplàstica, amb nucli de polipropilè. El suport està comformat amb chapa d'acer amb doble carril de boles al cap giratori. Zincat.

Geometria: De diàmetre de la roda 50mm, amb espiga roscada M10. La distància perpendicular entre l'espiga roscada i l'eix de la roda és de 23 – 25mm. L'amplada total de la roda és de 19mm. L'altura entre la base del cap giratori i al pla de rodadura és de 69mm.

Càrrega recomanda: La càrrega recomanada per fabricant no serà inferior a 50 kg.

7.1.8 Roda Motriu

Les rodes motrius requerides pel disseny tenen les següents característiques:

Utilització: Roda de goma massissa estàndard amb banda de rodadura de goma.

Geometria: El diàmetre de la roda és de 80mm, l'amplada total de la roda és de 35mm, l'amplada de la banda de rodadura és de 25 mm, l'orifici central de la roda serà llis, sense rodaments, de diàmetre 12mm.

Càrrega recomanda: La càrrega recomanada per fabricant no serà inferior a 50 kg.

7.1.9 Alumini 6082 T6

S'utilitza alumini 6082 T6 subministrat en barra i posteriorment mecanitzat segons plànols.

Aquest material té les següents característiques:

Composició química:

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Altres elements	Al
Mínim	0,7			0,40	0,60					
Màxim	1,30	0,50	0,10	1,00	1,20	0,25	0,20	0,10	0,1	La resta

Propietats mecàniques:

Estat	Càrrega de ruptura Rm. N/mm ²	Límit elàstic Rp 0,2, N/mm ²	Allargament A 5,65%	Límit a la fatiga N/mm ²	Resistència a la cisalladura τ N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
T6	340	310	11	210	210	95

Propietats Físiques:

Mòdul elàstic N/mm ²	Pes específic g/cm ³	Interval de fusió °C	Coefficient de dilatació lineal 1/10 ⁶ K	Conductivitat tèrmica W/m K	Resistivitat elèctrica a 20°C - $\mu\Omega$ cm	Conductivitat elèctrica % IACS)	Potencial de dissolució V
70,000	2,71	575-650	23,1	172	3,9	44	-0,83

Radis de plegat:

0,4<e<0,8 mm	0,8<e<1,6 mm	1,6<e<3,2 mm	3,2<e<4,8 mm	4,8<e<6 mm	6<e<10 mm	10<e<12 mm
2	2,5	3,5	4	4,5	5	6

Multiplicar els anteriors coeficients per espessor de la xapa.

Tractament tèrmic:

Interval de temperatura de forja: 350° - 500°C

Recuit total: 420°C, amb refredament lent fins 250°C

Recuit contra acritud: 340°C.

7.1.10 Politja de 24 i 16 dents

S'utilitzen politjes d'alumini per a la transmissió de forces del disseny aquestes tenen les següents característiques:

Utilització: Aptes segons fabricant per utilització en corretges dentades de distribució T5 i amplada de la corretja de 16mm. D'alumini amb ales de zinc. Les consideracions geomètriques venen indicades en els plànols del present projecte.

7.1.11 Motor Pas a Pas "MOTOR_PAP"

Té les següents característiques:

Parell de retenció: 2,7 Nm.

Corrent nominal per fase: 2 A.

Resistència del bobinat: 2,4 Ω .

Inductància del bobinat: 9,5 mH per fase.

Massa: No serà superior a 1,5 kg.

Longitud total del motor: 85 mm.

Fixació: Normalitzada tipus NEMA 23.

Parell: El motor subministrarà un parell de 2,7 Nm a 0 rpm, de 2,1 Nm a 100 Nm, de 1 Nm a 500 rpm i tindrà un velocitat màxima en buit de 2200 rpm.

Tindrà un conexionat del tipus "VHR-4N".

7.1.12 Corretja dentada

La corretja dentada s'utilitza en la transmissió de forces entre el motor i l'eix de la roda motriu.

Aquesta tindrà les següents característiques:

Pas: 5 mm.

Amplada: 16 mm.

Angle de la dent: 40°.

Altura de la dent: 1,2 mm.

Longitud: 255 mm (51 dents)

Força específica (N/cm/dent): 24 a 0 rpm, 18 a 500 rpm.

Tensió màxima de la corretja: 570 N.

Permetrà suficient flexibilitat per a politges de 10 dents.

7.1.13 Driver del motor

S'utilitzen per controlar la velocitat, sentit i frenada dels motor pas a pas. Tindran les següents característiques:

Suporta 8 tipus de control de corrent.

Suporta de 7 tipus de micro passos ajustables.

Capacitat d'interferència anti-alta freqüència.

Protecció anti-inversa d'entrada.

Protecció contra sobreescalfament, corrent i curtcircuit.

Corrent d'entrada: 0~5A.

Corrent de sortida: 0.5~4.0A.

Senyal de control: 3.3~24V.

Potència màx: 160W.

Temperatura: -10~45°C.

Pes: 0.2 kg.

Dimensions: 96 * 71 * 37 mm.

7.1.14 Bateria

Bateria de plom-àcid de 12V de tensió i 12Ah de capacitat de càrrega. Té regulació mitjançant vàlvules i construïda a partida de resina ABS.

Terminals: Faston F1.

Pes: 3,5 kg.

Corrent màxima de descàrrega: 180 A (5 segons).

Resistència interna: 14mΩ.

Corrent màxima de càrrega: 3,6A.

Tensió de càrrega: 13,5-13,8 VDC.

Temperatura de funcionament: -15-50°C Descàrrega. 0-40°C Càrrega. -15-40°C Emmagatzematge.

7.1.15 Coixinets

S'utilitzen coixinets de fricció de peu per tall de retenir l'eix en la posició desitjada. Aquests tenen les següents característiques:

Geomètriques: Indicades en plànols.

Màxima resistència a la tracció: 2000 N a curt termini i 1000 a llarg termini.

Màxima resistència axial: 800 N.

Màxima pivotació de l'eix: 25°.

7.1.16 Latiguillo Mascle-Mascle RJ9

Connector de dades per a les connexions dels sensor amb la placa electrònic. Cable en espiral i de longitud 2,5 m.

Connector A: Mascle RJ9 o superior.

Connector B: Mascle RJ9 o superior.

7.1.17 Interruptor ON/OFF Vermell

Interruptor de balancí de color de la part mòbil vermella, amb retolacions clares d'ON i OFF (en lletres o en símbols). Per a muntatge en chapa i apte per a forat en xapa de 2mm de 19,8 x 13 mm. NO de dos pols. Temperatura de funcionament entre -25°C a 85°C. Amb força dielèctrica de 1500V durant 1 minut. Per corrent nominal de 10A a 250VAC o superior.

7.1.18 Interruptor ON/OFF Verd

Interruptor de balancí de color de la part mòbil verda, amb retolacions clares d'ON i OFF (en lletres o en símbols). Per a muntatge en chapa i apte per a forat en xapa de 2mm de 19,8 x 13 mm. NO de dos pols. Temperatura de funcionament entre -25°C a 85°C. Amb força dielèctrica de 1500V durant 1 minut. Per corrent nominal de 10A a 250VAC o superior.

7.1.19 Interruptor rotatiu 3 posicions

Interruptor de 3 posicions giratori mòbil $\pm 50^\circ$ a dreta i esquerra. Amb almenys 300000 serveis de vida útil. Classe de protecció IP67. Temperatura de funcionament entre -25 a 70 °C. Per a muntatge frontal en forat de 22 mm.

7.1.20 Boto d'emergència de cap rodó

Interruptor de parada d'emergència amb retorn per rotació. Segons normativa EN60947-5-1. Amb classe de protecció IP 65. Amb muntatge sota panel de menys de 28,6 mm. Força dielèctrica de 1000 V durant 1 min. Per a muntatge en forat de 16 mm de diàmetre en panel.

7.1.21 Connector femella RJ11

Connector femella RJ11 per a muntatge passant amb temperatura d'operació d'entre -25 a 85°C. Amb força dielèctrica de 1000V durant 1 min. Amb corrent i tensió nominal de 1,5 i 120 V. Per a muntatge en panel amb forat de 13,5x15mm.

7.1.22 Connector Jack 3,5mm

Connector femella Jack de 3,5 mm per muntatge en panel amb forat de diàmetre 8.

7.1.23 LED

LED de color verd de 5 mm de diàmetre. Inclou moldura per a forat en xapa de 8 mmm de diàmetre.

7.1.24 Sensor d'ultrasons.

Sensor d'ultrasons amb designació HC SR04, amb con de detecció de d'almenys 15º.

8. PRESSUPOST

nº Element	nº Plànol	Ref./Denominació de l'element	Quantitat	Unitats	Preu Unitari	Preu Total
1	4/30	BARRA_A	1	U	4,37 €	4,37 €
2	5/30	BARRA_APP	1	U	4,37 €	4,37 €
3	6/30	BARRA_B	2	U	3,24 €	6,48 €
4	7/30	BARRA_C	1	U	3,11 €	3,11 €
5	8/30	BARRA_PES_REHATOM	2	U	0,81 €	1,62 €
6	9/30	BARRA_PETITA	2	U	0,81 €	1,62 €
7	10/30	BARRA_PROTE_A	1	U	0,59 €	0,59 €
8	11/30	BARRA_PROTE_B	1	U	2,16 €	2,16 €
9	12/30	BARRA_PROTE_C	1	U	0,56 €	0,56 €
10	13/30	BARRARODABOJA	1	U	1,37 €	1,37 €
11		Rosca Remachable Ø4mm	9	U	0,23 €	2,07 €
12		Rosca Remachable Ø5mm	8	U	0,24 €	1,92 €
13		Cargol M4 x 20	9	U	0,03 €	0,27 €
14		Cargol M5 x 25	8	U	0,04 €	0,32 €
15	14/30	SUPORT_MOTOR	2	U	1,35 €	2,70 €
16	15/30	TAPA_A	1	U	9,57 €	9,57 €
17	16/30	TAPA_C	1	U	6,50 €	6,50 €
18	17/30	TAPA_D	1	U	3,97 €	3,97 €
19	18/30	XAPA_PORTA_ELEMENTS	1	U	7,21 €	7,21 €
20	19/30	RODA BOJA	1	U	4,00 €	4,00 €
21	20/30	T_D_PANEL	1	U	2,87 €	2,87 €
22	21/30	RODA_MOTRIU	2	U	6,00 €	12,00 €
23	22/30	EIX	2	U	1,87 €	3,74 €
24	23/30	1_MOTRIU_POLITJA24	2	U	12,29 €	24,58 €
25	24/30	MOTOR_PAP	2	U	35,00 €	70,00 €
26	25/30	1_MOTRIU_POLITJA16	2	U	9,35 €	18,70 €
27		Corretja dentada: pas, longitud i amplada resp: 5, 255, 16mm	2	U	13,10 €	26,20 €
28	26/30	DRIVER_MOTOR	2	U	10,00 €	20,00 €
29	27/30	BATERIA	2	U	38,00 €	76,00 €
30	28/30	GOMA_REHATOM	2	U	2,00 €	4,00 €
31	29/30	COIXINET	4	U	5,78 €	23,12 €
32	30/30	GOMA_INVACARE	4	U	2,00 €	8,00 €
33		Latiguillo Mascle-Mascle RJ9 (o superior) de 2,5m de longitud.	6	U	3,86 €	23,16 €
34		Interruptor ON/OFF 21x15x14mm 10A 250 VAC 2P vermell	1	U	0,80 €	0,80 €
35		Interruptor ON/OFF 21x15x14mm 10A 250 VAC 2P verd	1	U	0,80 €	0,80 €
36		Interruptor rotatiu 3 posicions muntatge frontal IP67	1	U	10,67 €	10,67 €

37	Boto d'emergència de cap rodó, vermell retorn giratori, 30mm.	1	U	13,97 €	13,97 €
38	Connector femella RJ11 muntatge passant.	6	U	0,87 €	5,22 €
39	Connector Jack 3,5mm muntatge en panel vertical	2	U	0,79 €	1,58 €
40	LED verd 2V 5mm. Inclou moldura per instal·lació en panel.	4	U	0,40 €	1,60 €
41	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , gris.	2	m	0,02 €	0,04 €
42	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , verd.	2	m	0,02 €	0,04 €
43	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , vermell.	2	m	0,02 €	0,04 €
44	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , marró.	2	m	0,02 €	0,04 €
45	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , blau.	2	m	0,02 €	0,04 €
46	Cablejat de conductor de coure H05V-K, 0,5mm ² , groc.	2	m	0,02 €	0,04 €
47	Piça per tub de 18 a 25mm	6	U	2,00 €	12,00 €
48	Caixa d'empalmes de 80x80mm	6	U	1,46 €	8,76 €
49	Sensor d'ultrasons HC-SR04	6	U	1,67 €	10,00 €
50	Placa electrònica Arduino Mega	1	U	34,00 €	34,00 €
51	Mando inalàmbric per PS 2 bluetooth.	1	U	9,49 €	9,49 €
PREU TOTAL DEL PROJECTE				486,26 €	

9. CONCLUSIONS

El present projecte ha servit a l'autor per aprofundir en diversos aspectes que algunes ja s'havien après a les aules però l'autor no les havia considerat prou atentament i d'altres han sigut apreses d'inici, s'expliquen a continuació:

- En qualsevol procés de disseny és clau tenir clar saber en quin punt del procés s'està i fins a on es vol arribar. Cal saber i decidir quins aspectes del disseny s'han de prioritzar i dedicar-hi més recursos (ja sigui de temps o materials) per tal que el disseny sigui coherent. És a dir que en qualsevol disseny s'han de prioritzar els recursos i només dedicar-los en aspectes clau i no malgastar-los en d'altres poc rellevants pel conjunt.
- Cal entendre que en un disseny en que l'autor d'inici gran part dels aspectes que el regeixen és susceptible a que l'autor canviï de forma de pensar al llarg del procés.
- L'autor ha après a entendre i gestionar processos amb nombroses variables interrelacionades entre elles i per causes de coneixements de l'autor o per complexitat de les mateixes és impossible modelitzar exactament el model de forma numèrica.
- L'autor a estat en contacte amb l'Associació Aremi, ha vist (com a mínim superficialment) quina tasca es desenvolupa i ha vist una part de les inquietuds de l'associació.
- Per mitja de la redacció de l'estat de l'art ha vist en quin punt és troba el mateix en aspectes que afecten a l'Associació Aremi i, potser, serveixi perquè l'associació conegui més exemples de cadires de rodes autònomes, intel·ligents o similar.
- Ha conegut exemples comercials dels components requerits en el disseny, quins són els paràmetres clau i, de vegades, si existeixen diverses formes d'aconseguir el mateix objectiu en les parts dels projecte.

Per últim, el nivell de coneixements dels camps que afecten al present disseny ha augmentat en la mesura en que l'autor s'hi ha dedicat i s'ha aconseguit, finalment un base de disseny on oferir a Aremi un prototip solvent, barat i robust.

10. TREBALL FUTUR

Com s'ha explicat en l'apartat anterior el present disseny és una base de disseny que, tot i ser completament funcionalment, s'hi hauria de treballar més llargament els següents aspectes:

- El present disseny ofereix una solució de disseny mecànic amb els components que són necessaris per assolir els objectius. Ara bé, el present disseny ofereix algunes possibilitats d'automatització que amb tant sols petites modificacions es podria augmentar el ventall. Seria interessant primer de tot implementar les funcions bàsiques descrites en les especificacions del present projecte.
- Un cop implementades les funcions bàsiques seria molt interessant que la UdL recollís tota la informació que pugui de l'associació Aremi per tal de tenir informació per aplicar millores al disseny ja construït. És a dir, que en l'ús diari de la cadira, els educadors anessin recollint els aspectes a millorar, els aspectes a eliminar o optimitzar... etc. D'aquesta forma es podria tenir un base per a efectuar una nova automatització del disseny o inclús millores en el bastidor per tal que aquest sigui adequat a les necessitats de l'Aremi.
- Com s'ha vist en l'estat de l'art, no es troben productes comercials i a bon preu que assoleixin els objectius del projecte. Seria molt interessant trobar una solució que tingui més abast que la del projecte "Silla de ruedas exploratòria 1.0", però al mateix temps sigui de lliure accés per a la comunitat acadèmica o entitats que treballen diàriament amb infants amb diversitat funcional per tal que es creïn sinergies que propiciïn canvis en aquest camp de la ciència/tecnologia.
- Una opció per tal d'aconseguir més informació per tal de millorar encara més el disseny seria estudiar de treballar amb altres associacions del territori, inclús ampliar l'espectre d'usuari si es considera per tal d'ampliar l'abast del disseny.

11. BIBLIOGRAFIA

Autodeterminació i aprenentatge en alumnes. **Roura, Josep Font i.** 2003. 2003, Suports, Vol. vol. 7, págs. p. 102-111.

Evaluation of wheelchair tire rolling resistance using dynamometer based coast down tests. **Kwarciak, Andrew M.** 2009. 7, 2009, Journal of Rehabilitation Research & Development, Vol. 46, págs. 931-938.

Leaman, Jesse y La, Hung M. 2017. A Comprehensive Review of Smart Wheelchairs: Past, Present and Future. *arXiv*. [En línea] 2017. arxiv.org.

Mainieri, Wendy López. La autodeterminación como derecho social de las personas con discapacidad.

Perdomo, Antonio Morales. 2015. *TFG - Motorización independiente de una silla de ruedas.* 2015.

Romeva, Carles Riba. 2002. *Disseny de màquines V Metodologia.* Barcelona : Edicions UPC, 2002.

—. 2007. *Mecanismes i màquines I: El frec en les màquines.* Barcelona : Edicions UPC, 2007.

Roura, Josep Font i. [En línea]

Semi-autonomous Navigation of a Robotic Wheelchair. **A.A. Argyros, P. Georgiadis, P. Trahanias, D.P. Tsakiris.** 2001. Heraklion, Crete, Greece : KTISIVIOS Panhellenic Conf. in Robotics and Automation, Santorini, Greece, 2001.

Steinkraus, Joel. 2011. MECHANICAL INTEGRATION OF A VERSATILE AIR SUSPENSION INTO A POWERED WHEELCHAIR. 2011.

The NavChair Assistive Wheelchair Navigation System. **Simon P. Levine, David A. Bell, Lincoln A. Jaros, Richard C. Simpson, Yoram Koren.** 1999. 4, s.l.: IEEE TRANSACTIONS ON REHABILITATION ENGINEERING, 1999, Vol. 7.

Valle, Isabel. 2003. Sillas de ruedas eléctricas. Opciones de mandos de control y cambios de postura. Madrid : Imsero, 2003. 4.

12. PLÀNOLS