



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**DISSENY, DESENVOLUPAMENT I VALIDACIÓ D'UNA CADIRA
DE RODES AMB MILLORES PEL DESENVOLUPAMENT
SOSTENIBLE**



Memòria i Annexos

Autor: Oriol Villegas Torns
Director: Oscar Farrerons Vidal
Departament: Enginyeria Gràfica i de Disseny
Convocatòria: Gener 2023

Resum

Davant la gran demanda de cadires de rodes en hospitals, entitats del àmbit sanitari, residències geriàtriques o particulars aquest projecte tractarà del disseny íntegre d'una cadira de rodes no motoritzada.

Aquesta cadira aconseguirà alguns dels Objectius per al Desenvolupament Sostenible de l'Agenda 2030. Per això es buscarà la manera d'incloure materials reciclats o del menor impacte ambiental en la major quantitat possible. També s'intentarà reduir al màxim el cost econòmic de la cadira de rodes dissenyada.

Per a assentar les bases, es farà inicialment un estudi de mercat on es compararan diferents models amb les seves característiques. Seguidament es dissenyarà la cadira de rodes (per parts) amb el programa de CAD i es seleccionaran els materials adients per a un funcionament òptim. Finalment, es realitzaran diferents anàlisis mecànics per a obtenir els esforços als que estarà sotmesa la cadira i les característiques mecàniques que haurà de tenir. Tot això, tenint en compte sempre els objectius marcats anteriorment.

El disseny i els estudis mecànics es realitzaran amb el programari de CAD i simulació de Dassault Sistemes: Solidworks i Solidworks Simulation.

Resumen

Ante la gran demanda de sillas de ruedas en hospitales, entidades del ámbito sanitario, residencias geriátricas o particulares este proyecto tratará del diseño integro de una silla de ruedas no motorizada.

Además, se intentará que ésta siga los Objetivos para el Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Es por eso por lo que se buscará la manera de incluir materiales reciclados o del menor impacto ambiental en la mayor cantidad posible. También se intentará reducir al máximo el coste económico de la silla de ruedas diseñada.

Para asentar las bases, se hará inicialmente un estudio de mercado dónde se compararán distintos modelos con sus características. A continuación, se diseñará la silla de ruedas (por partes) con el programa de CAD y se seleccionarán los materiales más oportunos para un funcionamiento optimo. Finalmente, se realizarán diferentes análisis mecánicos para obtener los esfuerzos a los que estará sometida la silla y las características mecánicas que deberá tener. Todo esto teniendo en cuenta siempre los objetivos marcados anteriormente.

El diseño y los estudios mecánicos se realizarán con el programa de CAD i simulación de Dassault Sistemes: Solidworks y Solidworks Simulation.

Abstract

Faced with the great demand for wheelchairs in hospitals, healthcare organizations, geriatric homes or private individuals, this project will deal with the complete design of a non-motorized wheelchair.

Additionally, we will try to ensure that this wheelchair follows the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda. For this reason, we will look for ways to include recycled materials or those with the least environmental impact in the greatest possible amount. An attempt will also be made to reduce the economic cost of the designed wheelchair as much as possible.

For getting started, a market study will initially be carried out where different models will be compared with their characteristics. Next, the wheelchair will be designed (in parts) with the CAD programme and the appropriate materials will be selected for optimal operation. Finally, different mechanical analyses will be performed to obtain the efforts to which the wheelchair will be subjected and the mechanical characteristics it must have. Always keeping on mind the objectives set previously.

The design and mechanical studies will be carried out with the CAD and simulation programmes from Dassault Systemes: Solidworks and Solidworks Simulation.



Agraïments

Principalment m'agradaria agrair aquest treball a la meva família, per ser-hi allà i ajudar-me sempre que ho he necessitat (i quan no també). Han sigut uns mesos intensos i els hem portat el millor que hem sabut, sacrificant tots moltes coses.

També vull mencionar al meu tutor, l'Oscar Farrerons. Per assessorar-me i dirigir-me el treball i donant-me la confiança de que en qualsevol moment estava disponible per a respondre, fos laborable o festiu.





Glossari

Durant el redactat del següent treball apareixen una sèrie de sigles i termes que a continuació s'aclariran. Cal esmentar que durant el transcurs del document es desenvoluparan més extensament aquests conceptes.

Acer inoxidable 1.4301: equival a l'acer inoxidable AISI 304

AENOR: acrònim d'Asociación Española de Normalización y Certificación. Entitat dedicada a la normalització i l'estandardització.

CAD: acrònim de Computed-Aided Design. Aquest terme defineix un software capaç de crear i dissenyar models bidimensionals o tridimensionals.

CTN: acrònim de Comité Técnico de Normalización. Són els encarregats de crear la normativa UNE.

Energia incorporada: energia necessària per produir i obtenir un una certa quantitat d'un material qualsevol.

HDPE: acrònim de High Density Polyethylene. Es tracta d'un polímer.

ISO: acrònim d'International Organization for Standardization. Organització internacional dedicada a la normalització.

MIG: acrònim de Metal Inert Gas. Es tracta d'un tipus de soldadura.

ODS: acrònim d'Objectius pel Desenvolupament Sostenible.

T6: tractament tèrmic de solució, tremp i maduració artificial. S'aplica a aluminis per millorar les propietats.

TPU: acrònim de Thermoplastic Polyurethane. Es tracta d'un polímer.

UNE: acrònim d'Una Norma Española.



Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	V
GLOSSARI	VII
1. PREFACI	1
1.1. Origen del treball	1
1.2. Motivació	1
1.3. Requeriments previs.....	2
2. INTRODUCCIÓ	3
2.1. Objectius del treball.....	3
2.2. Abast del treball	3
3. CONSIDERACIONS PRÈVIES	5
3.1. Història de la cadira de rodes	5
3.2. Tipus de cadires de rodes	8
3.3. Parts d'una cadira de rodes	12
Xassís.....	12
Rodes anteriors.....	13
Rodes posteriors	15
Llantes.	16
Cèrcols d'autopropulsió.....	17
Frens.....	17
Braços.....	18
Reposapeus	19
Seient.....	20
Respatller	20
3.4. Normatives relatives al projecte.....	22
Normativa UNE	22
Normativa ISO	22
3.5. Objectius per al Desenvolupament Sostenible	24

4.	DISSENY DE LES PARTS DE LA CADIRA DE RODES	26
4.1.	Xassís.....	27
4.2.	Rodes posteriors.....	30
4.3.	Cèrcol d'autopropulsió.....	33
4.4.	Rodes anteriors.....	34
4.5.	Braços.....	38
4.6.	Reposapeus.....	40
4.7.	Seient.....	42
4.8.	Respatller.....	44
4.9.	Frens.....	45
5.	SELECCIÓ DELS MATERIALS	47
5.1.	Criteris de selecció.....	47
	Menor pes possible.....	47
	Menor cost possible.....	49
	Màxima fricció.....	51
	Mínim consum d'energia.....	53
5.2.	Materials seleccionats.....	55
6.	MÈTODES D'UNIÓ	56
6.1.	Elements normalitzats.....	56
6.2.	Soldadures.....	58
7.	ANÀLISIS ESTÀTICS	59
7.1.	Seient.....	59
7.2.	Respatller.....	61
7.3.	Xassís mòbil.....	63
7.4.	Xassís fix.....	64
7.5.	Llanta anterior.....	67
7.6.	Llanta posterior.....	68
7.7.	Reposabraços.....	70
7.8.	Reposapeus.....	72
8.	ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	74
	Sostenibilitat del disseny.....	74
	Sostenibilitat dels materials.....	75

CONCLUSIONS	79
BIBLIOGRAFIA	81
ANNEX A	91
Mesures antropomètriques.....	91
Ergonomia de la cadira	92
Alçada del seient	92
Reposapeus	93
Reposabraços	94
Amplada del seient	94
Profunditat del seient	95
Respatller	96
Mesures fonamentals de la cadira de rodes	97
ANNEX B	98
Propietats dels materials seleccionats per al disseny de la cadira de rodes	98



1. Prefaci

1.1. Origen del treball

L'origen del treball neix de la necessitat de millorar un objecte adequant-lo als Objectius pel Desenvolupament Sostenible de l'Agenda 2030. A partir d'aquí creiem que una cadira de rodes que sigui respectuosa amb el medi ambient, i que contempli el seu desús al llarg del temps, i per tant el seu reciclatge, pot ser una bona opció ja que és un objecte molt usat en la nostra societat i amb marge de millora en aquest aspecte.

1.2. Motivació

L'experiència personal de tenir una cadira de rodes al traster des de fa vint-i-cinc o trenta anys i veure com un objecte pràcticament intacte es fa servir en comptades ocasions i va envellint sense fer la seva funció fa que un se n'adoni que, en molts casos, una cadira de rodes no motoritzada no necessita de materials nous que només s'usin per a aquest objecte si s'aconsegueix trobar materials reciclats que complaquin les necessitats de l'usuari.

Les cadires de rodes no motoritzades són objectes altament estesos en la nostra societat, ja sigui en el sector sanitari com en particulars. Per tant, una millora pel que fa a la seva sostenibilitat seria certament notable.

Aquest disseny està especialment pensat per a aquella gent que no necessita una cadira de rodes d'altres prestacions ja que en el seu període de baixa curt, degut a una lesió menor o una convalescència, la cadira de rodes es tractaria d'un mitjà de transport puntual per a l'usuari.

1.3. Requeriments previs

En primer lloc, per a la realització d'aquest projecte és bàsic tenir certs coneixements avançats del programari Solidworks. Aquest es farà servir en la majoria d'apartats del treball i és important no trobar limitacions alhora de dissenyar per falta de coneixements sobre el programa. El programari de Solidworks ha sigut l'utilitzat en la majoria d'assignatures de disseny cursades a la carrera. És per això que s'haurien de poder aplicar tots els coneixements relatius a la creació de peces i assemblatges, així com a la projecció de tals peces i assemblatges en plànols correctament. També serà necessària una certa idea de l'eina de Solidworks Simulation, ja que serà l'emprada per als assajos que es realitzaran.

Finalment també es requereixen uns certs coneixements de materials, processos de fabricació i disseny de màquines per a poder escollir els materials dels que estarà composta la cadira de rodes amb criteri i poder comprovar que efectivament els resultats obtinguts amb l'ordinador són correctes.

2. Introducció

Actualment, les cadires de rodes són l'assistent més utilitzat per a aquelles persones que no poden caminar fàcilment o amb comoditat. És per això que aquest objecte està àmpliament estès en la nostra societat i pràcticament tothom ha tingut una experiència amb les cadires de rodes, ja sigui personal o a través d'un familiar o conegut. I, tot i l'augment de les cadires de rodes elèctriques, dins el mercat les més utilitzades segueixen sent les manuals degut al seu baix cost en comparació amb les seves homologues motoritzades.

Si ens posem a pensar en qui pot necessitar una cadira de rodes, segurament el primer que ens vindrà a la ment són tota aquella gent que pateix d'una dolència que l'impossibilita caminar indefinidament o que degut a la seva edat ja no pot recórrer grans distàncies sense necessitar d'un repòs. Però més enllà d'aquests, hi ha una gran quantitat de gent que necessitarà una cadira de rodes durant un període de temps relativament curt: ja sigui durant una convalescència o durant l'ingrés a un hospital o la recuperació d'una lesió. Això produeix una gran demanda de cadires de rodes que tindran un període de servei molt baix en relació a la seva vida útil. En molts casos això es tradueix en cadires de rodes aparcades en estat de seminoves i malgastant materials nous.

2.1. Objectius del treball

El següent projecte tractarà de buscar la manera d'aconseguir el disseny d'una cadira de rodes amb el menor impacte ambiental possible i sempre intentant reduir costos. D'aquesta manera s'aconseguirà que aquesta cadira de rodes compleixi amb alguns dels Objectius per al Desenvolupament Sostenible. L'objectiu principal és el seu disseny gràcies a materials prèviament reciclats o de fàcil reciclatge i que d'aquesta manera el fet de que la cadira de rodes envelleixi no impliqui la producció de residus.

2.2. Abast del treball

En aquest projecte es vol inicialment dissenyar una cadira de rodes manual i d'autopropulsió amb el programa de CAD Solidworks. Es buscarà el disseny més ergonòmic i senzill per millorar la comoditat de l'usuari i, alhora, que el producte sigui econòmicament assequible. Un cop dissenyada la cadira de rodes es buscaran els materials adients perquè s'acompleixin els objectius esmentats anteriorment. Posteriorment s'assajaran les peces i les parts més

compromeses de la cadira de rodes dissenyada per a comprovar que el disseny i l'elecció dels materials no impedeixen un bon funcionament i, en cas de resultats desfavorables en tornaria a iterar amb el disseny o l'elecció del material d'aquella peça o part de la cadira. Finalment es farà un anàlisi d'impacte ambiental o es podrà veure si els materials escollits es poden considerar sostenibles o no i en cas de que puguin ser reciclats en quins altres àmbits s'utilitzen ja que aquests podrien ser fonts de material per a la cadira de rodes.

Per altra banda també es representaran en plànols totes les peces que componen la cadira de rodes i es farà un estudi econòmic per a veure quin cost té la cadira.

3. Consideracions prèvies

3.1. Història de la cadira de rodes

La primera evidència d'una cadira de rodes es remunta a l'any 525 aC. Es tracta d'un gravat en l'antiga Xina on es mostra una cadira amb tres rodes impulsat per una tercera persona. També s'han trobat representacions gràfiques de diferents dispositius amb rodes en l'antiga Grècia. Tot i així es creu que en el cas de les cadires de rodes xineses aquestes es tractarien d'articles de luxe i no pas de tecnologia d'assistència a la mobilitat. Tampoc es confirma l'existència degut a les poques proves obtingudes. Sempre existeix la possibilitat de que fossin representacions artístiques d'idees mai dutes a terme.

Així doncs, la primera cadira de rodes amb finalitats ortopèdiques es tracta de la que es va dissenyar expressament pel rei Felip II d'Espanya. El rei patia de gota i artrosi i, per tant, no es podia moure. No se sap exactament qui la va dissenyar ni quan, però es creu que va ser al voltant de l'any 1595. El disseny es tractava de l'acoblament de quatre rodes petites a cada una de les potes d'una butaca amb reposapeus i estava feta de fusta, cuir i ferro.



Figura 3.1 Cadira de rodes del rei Felip II (Font: Diario Marca)

A l'any 1655, un rellotger de Nuremberg, de nom Stephan Farfler, va crear als 22 anys la primera cadira de rodes autopropulsada. Aquest disseny incorporava un xassís que a partir d'un sistema de manovelles i politges permetia el gir de la roda davantera. En Farfler va crear aquesta cadira de rodes per al seu propi ús, ja que era paraplàgic. El disseny recorda molt al de les actuals handbikes, que són bicicletes amb l'estructura d'un tricicle que s'accionen amb les mans.

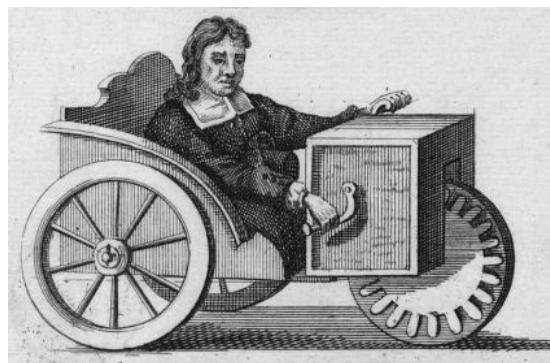


Figura 3.2 Cadira de rodes autopropulsada d'Stephan Farfler (Font: Sunrise Medical)

Posteriorment, a l'any 1783, el fabricant anglès John Dawson va dissenyar una cadira de dues rodes posteriors i una roda davantera. Aquesta cadira va ser batejada amb el nom de *Bath*, en referència a la vila natal del seu creador. Aquest model va dominar el mercat durant el segle XIX, però el gran problema que presentava era la manca de comoditat per part del usuari. Es per això que se li van anar introduït contínues millores com per exemple: respatlles i reposapeus ajustables, rodes del darrere d'autopropulsió (1869) o rodes de goma (1875). Cal dir que totes aquestes millores s'inspiraven en un altre invent de la època: la bicicleta.

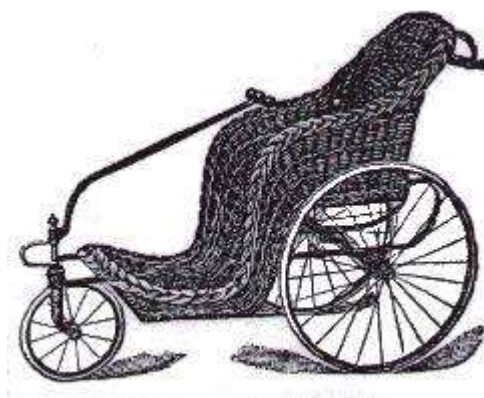


Figura 3.3 Cadira de rodes Bath (Font: Karma Mobility)

No va ser fins l'any 1933 que es va inventar la primera cadira de rodes plegable d'acer tubular. La va dissenyar l'enginyer mecànic Harry Jennings per al seu amic, el també enginyer, Herbert Everest, que havia patit un accident en una mina i havia quedat paraplègic. Aquest model de cadira de rodes és amb el que s'inspiren actualment els dissenys més bàsics de cadires de rodes d'autopropulsió. Els dos enginyers van fundar l'empresa Everest & Jennings i van monopolitzar el mercat de cadires de rodes durant molts anys. La mateixa empresa va ser l'encarregada de fabricar a gran escala la primera cadira de rodes elèctrica l'any 1956.



Figura 3.4 Cadira de rodes de Everest & Jennings (Font: Sunrise Medical)

3.2. Tipus de cadires de rodes

Actualment existeixen molts models de cadires de rodes, tots ells amb funcionalitats diferents i amb característiques diferenciades que els adequen a un sector de la població específic.

En primer lloc, tenim les cadires de rodes manuals. Aquestes aconseguen el moviment gràcies a la força manual de l'usuari o d'una persona externa. Acostumen a seguir dissenys bàsics i tenir preus econòmics, el que fa que siguin les més esteses al mercat. Permeten qualsevol tipus de moviment en terrenys plans o lleugerament inclinats, ja sigui en interiors com en exteriors.

Així doncs, podem diferenciar les cadires de rodes manuals autopropulsades i les cadires de rodes manuals no autopropulsades. Les cadires de rodes autopropulsades permeten que el propi usuari pugui desplaçar-se sense l'ajuda d'una tercera persona. Això és possible gràcies als cercols d'autopropulsió, que es situen als laterals de les rodes posteriors de la cadira. Això provoca que aquestes rodes siguin de mides relativament grans i que, per tant, siguin més apropiades per a exteriors degut a la seva poca maniobrabilitat. Aquestes cadires de rodes també porten mànecs al darrere perquè puguin ser empeses per una tercera persona.



Figura 3.5 Cadira de rodes manual d'autopropulsió (Font: Vermeiren Ibérica S.L.)

Les cadires de rodes manuals de no autopropulsió necessiten d'una tercera persona per a ser mogudes. Van sobretot dirigides a aquells sectors de la població que no tenen prou força als braços per a desplaçar-se. Existeixen cadires de rodes de no autopropulsió de rodes posteriors de diàmetre gran (com les d'autopropulsió) o de diàmetre petit. Aquestes últimes són més apropiades per a espais interiors ja que disposen de major maniobrabilitat.



Figura 3.6 Cadira de rodes manual de no autopropulsió (Font: GERATEC)

Un altre manera de diferenciar les cadires de rodes manuals és en funció de si són plegables o no. A partir del seu disseny existeixen cadires de rodes que permeten plegar-se pel seu eix de simetria. Això les fa més còmodes i portables que no pas les que no són plegables, però també fa que no siguin tan robustes. Aquestes acostumen a estar fetes d'alumini ja que resulta més lleuger que no pas l'acer.

Per altra banda, tenim les cadires de rodes elèctriques. Aquestes incorporen un sistema de motorització elèctrica que les dota de moviment sense la necessitat d'impuls per part d'una persona. Les cadires de rodes elèctriques van dirigides a persones amb mobilitat reduïda que vulguin tenir major autonomia i llibertat de moviments. Compten amb un motor elèctric, una sèrie de bateries i un quadre de comandament que es situa a un dels braços de la cadira. Aquest tipus de cadires de rodes tenen un cost més elevat que no pas les manuals i presenten una major dificultat alhora de transportar-les.



Figura 3.7 Cadira de rodes elèctrica (Font: Sunrise Medical)

I finalment, tenim altres tipus de cadires de rodes que estan destinats a necessitats més específiques.

Les cadires de rodes de bipedestació permeten a l'usuari posar-se en posició vertical sense necessitat d'abandonar la cadira de rodes. Compten amb una bomba hidràulica que permet aixecar el seient i el respall per mantenir la posició de peu.



Figura 3.8 Cadira de rodes de bipedestació (Font: Sunrise Medical)

Les cadires de rodes bariàtriques van expressament dirigides a persones que pateixen sobrepès, ja que estan dissenyades per aguantar grans càrregues. Tenen un seient i les bases de les rodes més amples per afavorir la comoditat del usuari.



Figura 3.9 Cadira de rodes bariàtrica d'autopropulsió (Font: Ortojosbel)

Les cadires de rodes esportives acostumen a ser cadires de rodes manuals d'autopropulsió on es busca un disseny amb el menor pes i la màxima estabilitat possibles. No són plegables i compten amb les rodes col·locades amb un cert angle per millorar l'estabilitat i suportar girs bruscs.



Figura 3.10 Cadira de rodes esportiva (Font: Dismovil)

3.3. Parts d'una cadira de rodes

Abans de començar a dissenyar la nostra cadira de rodes, és important conèixer les parts que la conformen així com les seves funcions i geometries. En aquest punt es veuran les parts d'una cadira de rodes manual d'autopropulsió.

Xassis

El xassis es la part de la cadira de rodes que s'encarrega de mantenir l'estructura i suportar la major part de les càrregues que se li apliquen a la cadira de rodes. És el xassis el que permet que la cadira de rodes sigui plegable o no. S'ha de tenir en compte que una cadira de rodes plegable tindrà un aprofitament de l'impuls d'entre un 5% i un 8%, mentre que una cadira de rodes no plegable aprofita entre un 15% i un 20% de l'energia que l'usuari aplica per a propulsar-se. Això és bàsicament degut a que part de l'energia que dediquem a moure'ns es perd en petits moviments en les juntes o articulacions.



Figura 3.11 Xassis d'una cadira de rodes plegable (Font: Garotécnica)



Figura 3.12 Xassís d'una cadira de rodes no plegable (Font: Garotécnica)

La forma i estructura del xassís d'una cadira de rodes pot canviar en gran mesura. Dependrà de diferents factors, com per exemple: si és plegable o no, el nombre de rodes que tingui, la mida de les rodes, si la cadira de rodes és esportiva o no, si es tracta d'una cadira de rodes bariàtrica, del material del xassís o inclús del propi disseny que se li hagi volgut donar.

Els materials dels que acostumen a estar fets els xassís de les cadires de rodes són d'acer, d'alumini, de carboni o de titani. Les cadires de rodes més bàsiques fan servir acer per al xassís ja que aquest material resulta ser el més barat i aguanta sobradament els esforços demandats. El principal inconvenient es troba en el pes de la cadira de rodes, doncs aquesta resulta ser robusta i, per tant, incòmode de transportar. L'alumini és un material molt més lleuger que l'acer i amb unes característiques mecàniques semblants i que permet aguantar els esforços que ha de suportar el xassís. És per això que moltes cadires de rodes, sobretot les plegables, estan fetes d'alumini. Les cadires de rodes de fibra de carboni i de titani es tracten de cadires de rodes ultralleugeres però amb un cost econòmic molt elevat.

Rodes anteriors

Les rodes anteriors o davanteres són aquelles que serveixen de suport per a la cadira de rodes, és a dir, no se'ls transmet ni impuls ni direcció. Senzillament ajuden a l'estabilitat d'aquesta.

Les rodes anteriors poden ser massisses o pneumàtiques. En el cas de les rodes massisses, aquestes estan fetes de goma o poliuretà. La gran avantatge de les rodes massisses és que no necessiten manteniment i per tant no patirem mai cap punxada. En canvi, aquest tipus de rodes no tenen gaire amortiment i pateixen alhora d'adherir-se en superfícies mullades.

Per altra banda tenim les rodes pneumàtiques. Aquestes presenten una càmera d'aire i una coberta de pneumàtic. S'han de mantenir inflades i poden patir punxades, però esmorteixen bé qualsevol tipus d'irregularitat del terreny. Són més lleugeres que les rodes massisses.



Figura 3.13 Roda davantera massissa (Font: Alibaba)



Figura 3.14 Rodes davanteres pneumàtiques (Font: Amazon)

Existeixen gran varietat de mides de les rodes davanteres depenent de l'ús al que se li doni a la cadira de rodes. Aquestes van des de les 3'' fins a les 8''. Mentre que les rodes petites tenen menys fricció amb el terra i permeten una major facilitat per pivotar, les rodes grans poden superar obstacles del terreny majors. Si parlem de cadires de rodes per a exterior, les més comunes són les de 8'' (200 mm) que es consideren grans, ja que són les més indicades. Les rodes inferiors a 5'' acostumen a ser totes massisses mentre que a partir d'aquesta mesura podem trobar tant rodes massisses com pneumàtiques.

Rodes posteriors

En les cadires de rodes manuals d'autopropulsió les rodes posteriors són les rodes que reben la força d'impuls i direcció. Si comptem que el mètode d'autopropulsió és a partir d'un cercle unit a la roda, és lògic que les rodes posteriors siguin de gran mida, ja que així l'usuari es podrà impulsar de manera més còmode.

Hi ha tres tipus de rodes posteriors: massisses, pneumàtiques i d'insert sòlid. Les rodes massisses i les rodes pneumàtiques tenen les mateixes característiques que s'han explicat en l'apartat anterior, amb els mateixos pros i contres. Les rodes d'insert sòlid són rodes formades per una coberta de pneumàtic on se li ha inserit una part sòlida a dins. Pel que fa a les prestacions, aquestes estan entre mig de les rodes massisses i les pneumàtiques: no necessiten manteniment i tenen una bona adherència però són pesades i no acaben d'esmortir igual que ho faria una roda pneumàtica.

Pel que fa a la mida de les rodes posteriors, al mercat es comercialitzen de 24'' o de 22''. També en podem trobar de 20'' en cadires de rodes pediàtriques o per a hemiplègics i rodes de 26'' en cadires de rodes per a persones molt altes o en cadires de rodes esportives.

Un altre aspecte a tenir en compte és la inclinació de les rodes. Les cadires de rodes amb angles significatius de les rodes amb el terra són més ràpides, estables i maniobrables. Però en canvi provoquen que la cadira de rodes sigui més ampla. Les cadires de rodes manuals d'autopropulsió bàsiques tenen uns angles d'inclinació de les rodes posteriors no superiors als 6°.

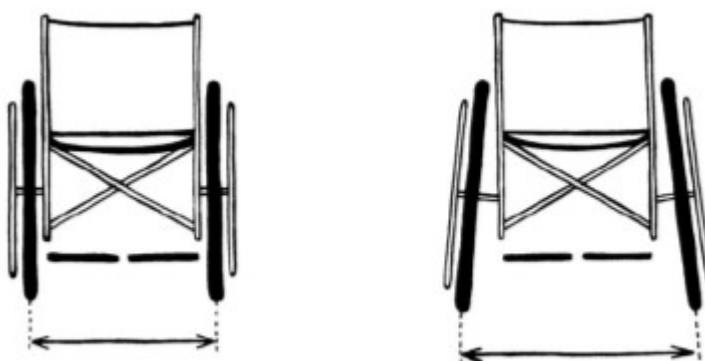


Figura 3.15 Comparació de la inclinació de les rodes posteriors (Font: Bolívar Moreno, L.H. Proyecto de investigación de una silla de ruedas)

Llantes

Les llantes mantenen l'estructura de la roda alhora que ajuden a esmorteir part de les irregularitats del terreny. Actualment se'n fabriquen de tres materials diferents: plàstic, alumini i fibra de carboni.

Les llantes de plàstic acostumen a ser les més bàsiques degut al seu baix cost econòmic. Tenen un elevat pes ja que no són radials però, en canvi, no requereixen cap tipus de manteniment.

Les llantes d'alumini tenen una estructura radial, semblant a les de les bicicletes, el que les fa més lleugeres i permeten un major esmortiment que les de plàstic. I si els radis de la llanta estan encreuats, aconseguirem una major robustesa per part de la llanta. Tot i no ser les més barates, són les que estan més esteses al mercat.

Per últim tenim les llantes de fibra de carboni. Aquestes estan reservades per a cadires d'un molt elevat cost econòmic i que volen aconseguir unes prestacions molt elevades en termes de lleugeresa. Sobretot es troben en cadires de rodes esportives.



Figura 3.16 Llanta de plàstic (Font: XinChen)



Figura 3.17 Llanta d'alumini de radis entrecruats
(Font: Ortoiberia)



Figura 3.18 Llanta de fibra de carboni (Font: Sinsion Wheel Line)

Cèrcols d'autopropulsió

Els cercols d'autopropulsió permeten a l'usuari de la cadira de rodes desplaçar-se sense l'ajuda d'una tercera persona. No són l'únic mètode d'autopropulsió, però sí el més usat amb diferència i el que inclourà el nostre projecte. S'acoblen a la cara exterior de les rodes posteriors, el que provoca que l'amplada de la cadira de rodes augmenti. Existeixen cercols d'autopropulsió de diferents materials. Els més comuns són els d'alumini. En canvi, els d'acer són bastant més pesats, però presenten una bona adherència alhora d'agafar-los. Per últim trobem els de titani, que són ultralleugers però molt més cars.

Els cercols d'autopropulsió poden anar recoberts d'algun altre material per millorar l'adherència, protegir-los o fer-los més còmodes alhora d'agafar-los. Un altre component que se li pot afegir als cercols d'autopropulsió són les projeccions. Aquestes permeten un menor esforç a l'hora de fer girar el cercol. Van sobretot dirigides a persones amb poca mobilitat a les mans.



Figura 3.19 Cercol d'autopropulsió (Font: Ortopedia.com)



Figura 3.20 Cercol d'autopropulsió amb projeccions (Font: Sunrise Medical)

Frens

Els frens permeten que la cadira de rodes pugui mantenir-se parada. N'hi ha de diferents tipus en funció de l'usuari de la cadira de rodes.

Els més comuns són els frens de sabata. Aquests es fixen al tub de sota el seient i es poden activar estirant cap endarrere o empenyent cap endavant, depenent del tipus de fre.

Els frens de tambor són exclusius per a cadires de rodes de no autopropulsió ja que s'activen des de les manetes posteriors com si fossin els frens d'una bicicleta.

Després hi ha altres tipus de frens que es fan servir en casos especials com els frens d'una mà en cadires de rodes per a hemiplègics o els frens de tisora en cadires de rodes ultralleugeres.



Figura 3.21 Fre de sabata (Font: Impormedical)

Braços

Els braços d'una cadira de rodes permeten que l'usuari pugui tenir els braços recolzats. Per tant, són un element que contribueix a la comoditat i a una postura correcta. Hi ha diferents tipus de braços: poden ser fixes o desmuntables, poden ser d'altura regulable, poden estar encoixinats, poden dur corretges per a subjectar els braços del usuari... També existeixen els braços tubulars, que tenen un disseny més minimalista i, per tant, són més lleugers. En contrapartida, acostumen a tenir poca superfície de contacte, el que provoca que no siguin tant còmodes. Hi ha cadires de rodes que no tenen braços ja pot ser degut a que l'usuari no els necessiti o perquè es tracti d'una cadira de rodes esportiva.

Un accessori que poden contenir alguns braços són proteccions laterals per evitar que la roba s'enganxi a les rodes o pateixi esquitxades.



Figura 3.22 Braç d'una cadira de rodes amb protecció lateral (Font: Alquileres Ortopédicos)

Reposapeus

Els reposapeus permeten mantenir una bona postura corporal de l'usuari de la cadira de rodes. Tot i que acostumen a ser desmuntables, podem trobar cadires de rodes amb reposapeus fixes. Els més bàsics serien una barra travessera adaptada per a poder reposar-hi els peus. Pel que fa als reposapeus desmuntables, aquests permeten guanyar espai en cas de necessitat i inclús, en molts casos, regular l'alçada dels reposapeus per a una major comoditat.

L'angle ideal dels reposapeus respecte el seient és de 90°, però en aquesta posició és possible que interfereixi en el gir de les rodes davanteres. És per això que en les cadires de rodes els reposapeus acostumen a estar en angles entre els 60° i els 80°. I pel que fa a l'alçada dels reposapeus aquesta no ha de ser mai inferior als 5 cm respecte al terra per així poder evitar petits obstacles que ens puguem trobar al terreny. Tot i així, en la majoria de casos els reposapeus solen estar a una alçada al voltant dels 10 cm respecte el terra.

Un altre aspecte a valorar dels reposapeus són els accessoris que poden dur. Els més comuns són les plataformes per poder tenir tota la superfície del peu reposada. Acostumen a ser de plàstic. Els reposapeus també poden incloure corretges que assegurin la posició de les cames. Aquestes van sobretot dirigides a persones amb majors problemes de mobilitat.



Figura 3.23 Reposapeus desmuntable (Font: Prim Ortopedia)



Figura 3.24 Reposapeus fixe (Font: Ortopedia Cercana)

Seient

El seient és la part de la cadira de rodes que ha de suportar la major part del pes de l'usuari ja que és on s'hi asseurà. És per això que la condició més important és que sigui còmode i respecti una posició corporal saludable.

Existeixen molts tipus diferents de seients, però a grans trets els podem diferenciar entre rígids i flexibles. Els seients rígids es fan servir en cadires de rodes no plegables i aporten una major comoditat i fermesa a l'usuari. Estan encoixinats ja sigui mitjançant càmeres d'aire, gel o materials viscoelàstics. Per altre banda tenim els seients flexibles, que tot i que no aporten la mateixa comoditat que els anteriors, tenen la gran avantatge que es poden plegar i ocupen menys espai. Acostumen a estar fets d'una tela tensa i revestida que es fixa al xassís de la cadira de rodes.



Figura 3.26 Seient rígid (Font: Ortopedia Online)



Figura 3.25 Seient flexible (Font: OrtoPlanet)

Respatller

El respatller és l'element encarregat de mantenir una postura correcta del tronc de l'usuari evitant deformacions a l'esquena degudes a males postures. És per això que també ha de ser un element rígid alhora que busqui comoditat. Com els seients, els respatllers poden ser rígids o flexibles, tenint les mateixes característiques que s'han esmentat anteriorment. Però a diferència dels seients, en els respatllers flexibles és possible ajustar la tensió de la tela per així obtenir un major confort.

Pel que fa a la mida del respatller, es recomana que aquest arribi fins a l'alçada dels omòplats ja que d'aquesta manera ens assegurem que subjecta correctament tota l'esquena. Tot i així es poden veure en cadires de rodes actives o esportives respatllers que només subjecten la zona lumbar de l'esquena. Això és degut a que són cadires de rodes preparades per una gran llibertat de moviments per part de l'usuari.



Figura 3.27 Respatller flexible (Font: Ortopedia en línia)



Figura 3.28 Respatller rígid lumbar (Font: Ortopedia Online)

3.4. Normatives relatives al projecte

Normativa UNE

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) és una associació privada que desenvolupa funcions de normalització i certificació en els sectors industrials i de serveis. La normativa UNE (Una Norma Española) són un conjunt de normes, normes experimentals i informes creats pels Comitès Tècnics de Normalización (CTN) d'AENOR.

Pel que fa a les cadires de rodes manuals, la norma UNE que les regula és la UNE-EN 12183. Aquesta norma té diferents punts, d'entre els quals ens interessen:

- 7.1. Estabilitat estàtica.
- 7.2. Resistència estàtica, resistència a l'impacte i resistència a la fatiga.
- 8.1. Reposapeus, reposacames i reposabraços.
- 8.2. Massa dels components.
- 8.3. Rodes pneumàtiques.
- 9.1. Dispositius de fre de servei.
- 9.2. Funcions de frenada.
- 9.3. Força d'empenta.
- 10.4. Empunyadures d'empenta i agafadors.
- 10.5. Forces d'accionament.
- Annex A. Recomanacions sobre dimensions i zona de maniobra de les cadires de rodes manuals.

Normativa ISO

La International Standardization Organization (ISO) és una organització internacional independent i no governamental de la que hi formen part 167 organismes nacionals de normalització. A través dels seus membres, desenvolupa estàndards internacionals voluntaris de gestió, prestació de serveis i desenvolupament de productes en el sector industrial.

En relació a les cadires de rodes, la norma UNE-EN 12183 fa referència en repetides ocasions a la norma internacional ISO 7176. És per això que es considera important tenir en compte aquesta norma alhora d'estandarditzar el producte. La norma ISO 7176 està composta de diverses parts, però les que afecten directament a la norma UNE-EN 12183 són:

- Part 1: Determinació de l'estabilitat estàtica.
- Part 3: Determinació de l'eficiència dels frens.
- Part 5: Determinació de dimensions, pes i espai de maniobra.
- Part 7: Dimensions del seient i de les rodes.

- Part 8: Requisits i mètodes d'assaig d'estàtica, impacte i fatiga.
- Part 11: Maniquins d'assaig.
- Part 13: Determinació dels coeficients de fricció de les superfícies d'assaig.
- Part 15: Requisits per a la divulgació de la informació, documentació y etiquetatge.
- Part 16: Resistència a la ignició de les parts entapissades.
- Part 19: Dispositius de mobilitat amb rodes destinats a ser usats com a seients en vehicles de motor.
- Part 22: Procediments de configuració.
- Part 26: Vocabulari.

3.5. Objectius per al Desenvolupament Sostenible

L'Agenda 2030 és un pla d'acció internacional que té la intenció d'aconseguir una prosperitat respectuosa amb el planeta i els seus habitants. El 25 de setembre del 2015 els 193 estats membres de la ONU van reconèixer que actualment el major desafiament és l'erradicació de la pobresa i que sense assolir-ho és impossible un desenvolupament sostenible.

L'Agenda compta amb 17 objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) amb 169 punts que inclouen els àmbits econòmics, socials i ambientals. Els estats membres es van comprometre a destinar tots els esforços necessaris per a implementar aquests objectius.

En aquest projecte es vol treballar tenint en compte l'Agenda 2030 i, per tant, mirar d'assolir els Objectius pel Desenvolupament Sostenible que guardin relació amb el producte que es vol dissenyar. A continuació s'exposen els ODS que buscarem assolir:

Salut i benestar. Aquest és el tercer objectiu i busca garantir una vida sana i promoure el benestar a tota la població mundial. Concretament, el punt 3.8 vol "aconseguir la cobertura sanitària universal, en particular la protecció contra els riscos financers, l'accés a serveis de salut essencials de qualitat i l'accés a medicaments i vacunes segurs, eficaços, assequibles i de qualitat per a tothom". Aquest punt guarda relació amb el projecte ja que una cadira de rodes pot ser considerada com a material sanitari i es vol aconseguir que aquesta cadira sigui del menor cost econòmic possible i, per tant, accessible a tothom.

Producció i consum responsables. Aquest objectiu, que és el dotzè, es tracta d'un dels més transversals i importants per als països més desenvolupats, ja que busca una transformació dels models econòmics productius i de consum cap a la sostenibilitat. El ODS 12 busca "promoure la gestió sostenible i l'ús eficient dels recursos naturals, reduir la generació de residus i el malbaratament d'aliments, i fomentar la gestió ecològicament racional dels productes químics. Així com aspira a estimular la implementació de pràctiques sostenibles en empreses i l'accés universal a informació sobre estils de vida amb harmonia amb la naturalesa".

D'aquest objectiu número dotze hi ha dos punts que poden assolir-se en aquest projecte:

- 12.2. D'aquí a 2030, aconseguir la gestió i l'ús eficient dels recursos naturals. Pel que fa al projecte, durant el procés de fabricació de la cadira de rodes es faran servir diferents materials com metalls o polímers. És per això que sempre es buscaran

materials reciclats o del menor impacte ambiental possible. En cap cas es voldrà una alta demanda de recursos naturals d'ús únic.

- 12.5. D'aquí a 2030 reduir considerablement la generació de desfetes mitjançant activitats de prevenció, reducció reciclatge i reutilització. En el nostre cas, aquest punt va estretament relacionat amb l'anterior, ja que el fet de buscar materials reciclats per construir la cadira de rodes, provocarà una disminució de residus.

4. Disseny de les parts de la cadira de rodes

En aquest capítol s'explicarà quin ha sigut el disseny de cadascuna de les parts que conformen la cadira de rodes i es remarcaran alguns detalls importants per al seu correcte funcionament. En aquest apartat només es comentarà el disseny mecànic dels components, deixant per més endavant l'elecció dels materials i la seva resposta envers als assajos que se li realitzin.



Figura 4.1 Cadira de rodes dissenyada (Font: Pròpia)

El disseny de la cadira de rodes estarà inspirat amb el model creat per Harry Jennings i Herbert Everest. Aquest es caracteritzava per l'ús d'un xassís d'estructura tubular, el que la feia més lleugera alhora que senzilla. Comptarà amb dues rodes posteriors i dues rodes anteriors de menor mida. També s'ha apostat perquè la cadira de rodes sigui plegable, d'aquesta manera ocuparà el mínim espai quan no estigui en servei.

4.1. Xassís

Tal i com s'ha comentat abans, la nostra cadira de rodes serà plegable. Aquesta condició afecta principalment al xassís, ja que el disseny estarà bàsicament enfocat a satisfer aquesta premissa. La manera més senzilla de fer plegable la cadira de rodes sense restar-li prestacions alhora d'introduir peces articulades allà on ens interessaria que fossin rígides és seguint el pla de simetria de la cadira de rodes. En aquest cas, aquest pla de simetria coincideix amb el pla lateral. Així doncs, s'ha dissenyat un xassís que permeti plegar-se sobre el pla lateral de la cadira de rodes.

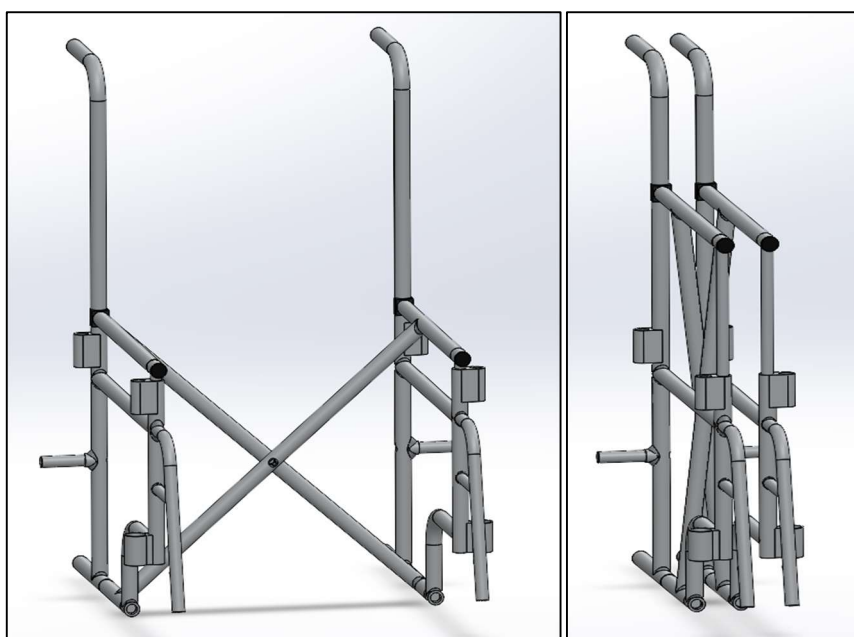


Figura 4.2 Comparació entre xassís estàtic i xassís plegat (Font: Pròpia)

El xassís de la nostra cadira de rodes tindrà principalment dues grans parts diferenciades. La primera serà l'encarregada de suportar les càrregues que pateixi la cadira de rodes, alhora que la dota d'estabilitat i aguanta els reposabraços, els reposapeus, el respatllet i les quatre rodes. A més, aquesta part del xassís, inclourà els mànecs per on l'acompanyant podrà maniobrar amb la cadira de rodes en cas que ho necessiti l'usuari. La segona part, en canvi, estarà principalment enfocada a permetre que la cadira de rodes es pugui plegar i suportarà també el seient. L'estructura principal del xassís serà tubular amb un diàmetre exterior de 22.5 mm i un diàmetre interior de 15.5 mm.

Comencem descrivint més detalladament la part fixa del xassís. A part de tenir l'estructura principal d'una cadira, tindrà una sèrie d'accessoris i prolongacions que permetran el muntatge d'altres parts com per exemple les rodes o els braços. El mecanisme emprat per acoblar tant els reposabraços com la part del xassís que permet el seu plegament serà el d'eix-forat. En el cas dels braços ens interessarà que aquest ajustament sigui amb collament per mantenir fixa l'estructura, mentre que l'altre part del xassís anirà ajustada amb joc per permetre el moviment de les diferents peces.

Un altre part en la que ens podem fixar és que el xassís comptarà també amb l'estructura que suportarà el respatller de la cadira de rodes. Aquesta serà una barra vertical que finalitzarà amb la zona on se li acoblaran els mànecs. I per la part inferior podem veure com, paral·lel als mànecs, hi ha dues barres horitzontals que sobresurten cap a la part posterior. Aquestes barres tenen la funció d'ajudar a l'acompanyant a inclinar la cadira de rodes cap enrere en el cas de voler superar un obstacle com podria ser un esglaó o una irregularitat al terreny. Es recobriran d'un material protector ja que el seu ús serà en forma de palanca amb el peu.

La última part del xassís fix que podem fer esment són les prolongacions que serviran per aguantar els reposapeus. Aquestes estan a la part anterior del xassís i formen part de la mateixa peça. Formen un angle de 75° amb la horitzontal per permetre una major comoditat de l'usuari.

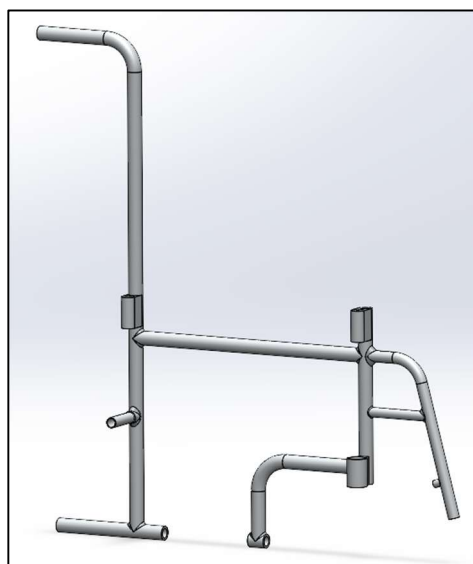


Figura 4.3 Part rígida del xassís de la cadira de rodes dret (Font: Pròpia)

Pel que fa a la part del xassís que permet el plegament de la cadira de rodes, aquesta estarà formada per tres peces: una part principal que serà l'encarregada de suportar el seient i dotar de plegament a la cadira de rodes, una part auxiliar que ajudarà a l'estabilitat de la part principal i la seva unió al xassís fix, i unes corredisses que ajudaran també al desplaçament de la peça principal per poder plegar la cadira de rodes.



Figura 4.4 Les tres peces que formen el xassís mòbil (Font: Pròpia)

El plegament de la cadira de rodes s'aconsegueix bàsicament gràcies al moviment de tisora que se li pot aplicar al xassís mòbil. Aquesta part del xassís crea una forma de X sota del seient que permet aquest moviment de tisora esmentat. Aquesta peça del xassís mòbil s'acobla per la part inferior de la part del xassís fix del costat contrari mitjançant un ajustament eix-forat amb joc, per permetre així la rotació de la peça.

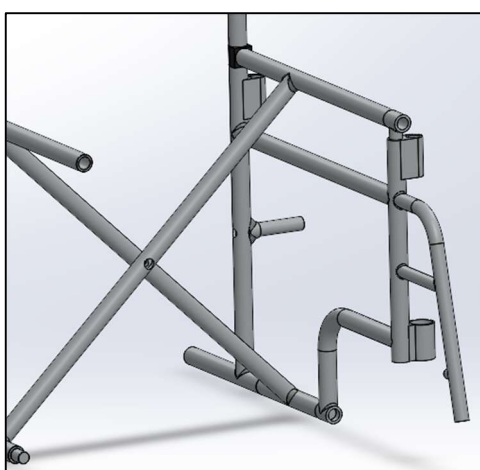


Figura 4.5 Creuament en X del xassís mòbil i ajustaments entre peces del xassís (Font: Pròpia)

4.2. Rodes posteriors

Tal i com s'ha esmentat en capítols anteriors, la nostra cadira de rodes comptarà amb quatre rodes: dues davanteres i dues posteriors. Les de major diàmetre seran les rodes posteriors i tindran la funció principal de dotar de moviment la cadira de rodes. La dimensió de les rodes posteriors pot variar entre les 20'' i les 26'' en funció del tipus de cadira de rodes i de l'alçada de l'usuari. En el nostre cas s'han dissenyat unes rodes posteriors de 24'' (609.6 mm). Aquesta dimensió es mesura des del centre de la roda fins al punt més allunyat del pneumàtic per obtenir el radi de la roda.



Figura 4.6 Roda posterior (Font: Pròpia)

La roda posterior tindrà dues parts: la roda pròpiament dita (que pot ser pneumàtica o massissa) i la llanta. Pel que fa al disseny, s'ha apostat per una roda massissa i una llanta de plàstic. Aquesta decisió s'ha pres bàsicament guiant-nos amb la regla de menor cost econòmic i menor manteniment necessari. En tots dos casos és l'alternativa més barata i la que necessita de menys manteniment al llarg del temps, ja sigui per inflar les rodes o per reparar possibles punxades o ruptures d'alguns dels radis de la llanta.

En relació a les llantes de les rodes posteriors, el fet que estiguin fetes d'un material plàstic provocarà que tinguin un major pes i per tant haurem de intentar reduir la massa de la llanta ja sigui per fer la cadira més funcional com per estalviar diners en material que no suporta cap càrrega. En aquest cas s'ha apostat per eliminar material del centre dotant a la llanta de vuit radis amb la inclusió de nervis per les dues bandes per repartir millor les càrregues que pugui suportar la roda.



Figura 4.7 Llanta de les rodes posteriors (Font: Pròpia)

El perfil de la roda serà circular, el que provocarà el menor contacte possible amb la superfície del terra i, per tant, una major facilitat per moure's per part de l'usuari. Pel que fa les marques d'adherència de la roda, aquestes seran llises, ja que la cadira de rodes dissenyada no estarà pensada per circular per terrenys abruptes i l'adherència del material del que estiguin fetes les rodes ja serà suficient per moure's per superfícies interiors o exteriors sense irregularitats molt pronunciades.

La llanta anirà recoberta per la roda massissa d'una forma que no permeti el seu desplaçament. Això ho aconseguirem amb un encaix en forma de doble esglaó, tal i com es mostra a la següent figura.

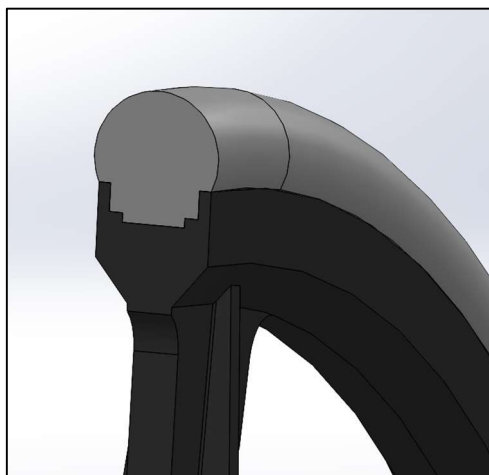


Figura 4.8 Encaix entre llanta i roda (Font: Pròpia)

Per trobar el radi del perfil circular de la roda tot sabent que volíem que el diàmetre de la roda fos de 24" (609,6 mm) mentre que el diàmetre de la llanta era de 569.6 mm i l'amplada de la zona d'encaix havia de ser de 25.3 mm hem utilitzat la següent expressió:

$$R^2 = \left(\frac{L}{2}\right)^2 + (R - H)^2 \quad (\text{Eq. 4.1})$$

On:

- R és el radi de la circumferència del perfil de la roda.
- L és l'amplada de la llanta en la zona d'encaix amb la roda.
- H és la meitat de la diferència entre els diàmetres de la roda i de la llanta.

Pel que fa a l'acoblament de les rodes posteriors al xassís de la cadira de rodes, aquestes s'acoblen a la part del xassís fix mitjançant un eix enroscat a la llanta i fixat al xassís gràcies a una femella. Per ajudar al gir de la roda, es col·locarà un rodament de boles que farà contacte entre el xassís i l'interior de la llanta. Finalment, per no deformar la llanta ni el xassís degut a petits moviments que puguin patir les rodes, es col·locarà una volandera que contactarà aquestes dues parts. A continuació es mostra la secció de la unió entre roda posterior i xassís de la cadira de rodes.

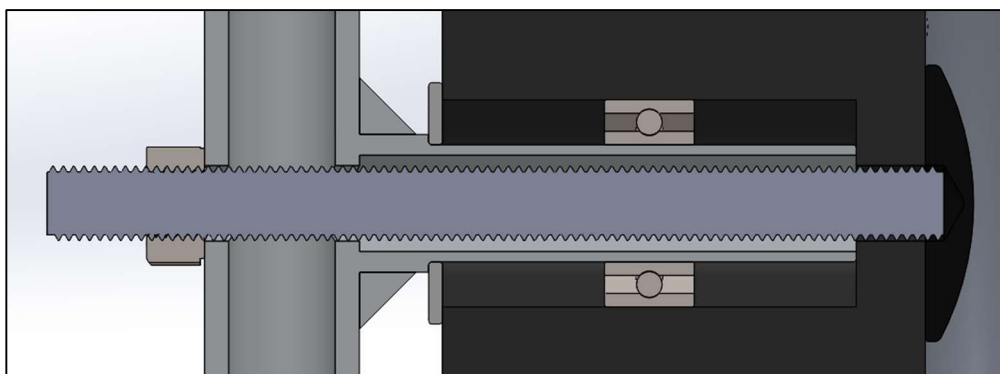


Figura 4.9 Acoblament de la roda posterior al xassís (Font: Pròpia)

4.3. Cèrcol d'autopropulsió

El mètode emprat per dotar d'autopropulsió a la cadira de rodes seran dos cèrcols units paral·lelament a les rodes posteriors. El gran objectiu dels cèrcols d'autopropulsió serà permetre a l'usuari de la cadira de rodes poder-se desplaçar lliurement a partir de la força dels seus braços. El perfil del cèrcol serà circular i tindrà un diàmetre de 19'' (482.6 mm). Els cèrcols d'autopropulsió aniran units a les rodes posteriors a partir de quatre cargols M4 i de longitud 8 mm.



Figura 4.10 Cèrcol d'autopropulsió (Font: Pròpia)

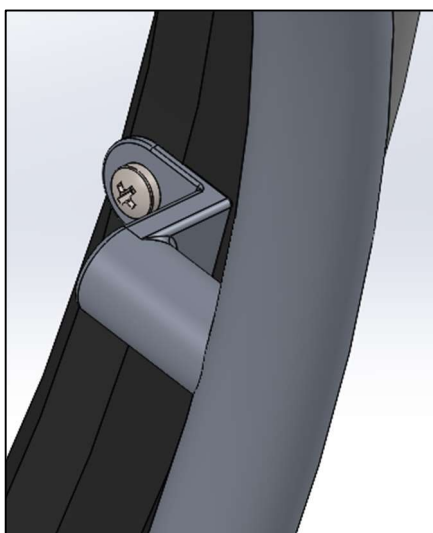


Figura 4.11 Unió entre cèrcol d'autopropulsió i llanta de la roda posterior (Font: Pròpia)

4.4. Rodes anteriors

Les rodes anteriors de la cadira de rodes tenen dues funcions diferenciades: per una banda permeten el desplaçament de la cadira de rodes alhora que la doten d'estabilitat ja que creen dos punts de recolzament més a la superfície del terra, però el gran objectiu pel qual han estat dissenyades és per poder facilitar els girs i els canvis de direcció de la cadira de rodes.

Aquestes rodes són de menor diàmetre que no pas les rodes posteriors. La seva mida pot anar entre les 3" i les 8". En el model de cadira de rodes treballat s'ha apostat per una roda davantera amb un diàmetre de 7.8" (197 mm) ja que amb unes rodes davanteres de gran mida podem donar-li la capacitat d'adaptar-se a diferents terrenys a la cadira de rodes. Tal i com ja hem comentat anteriorment, no és el nostre objectiu obtenir una cadira de rodes tot terreny, però sí que es vol aconseguir una cadira de rodes versàtil que pugui adaptar-se tant en espais interiors com en espais exteriors sense grans irregularitats.

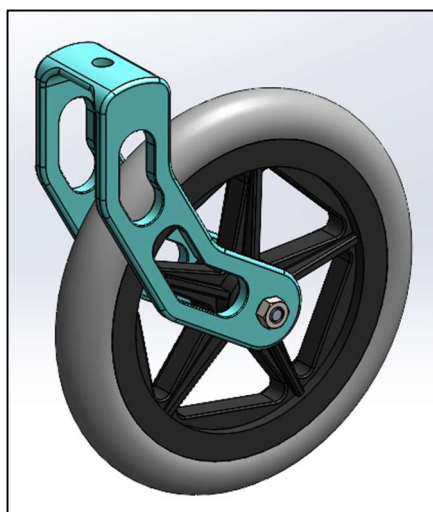


Figura 4.12 Roda davantera amb complement pel pivotatge (Font: Pròpia)

De la mateixa manera que descrivíem les rodes posteriors, les rodes davanteres també tenen dues parts: la roda pròpiament dita (pneumàtica o massissa) i la llanta. Pel que fa a la roda, aquesta serà massissa ja que d'aquesta manera ens evitem reparacions per punxades o pèrdues de pressió de la vàlvula. Aquesta tampoc tindrà bandes de relleu en la seva superfície, ja que l'adherència suficient la buscarem amb el material.

La llanta està dissenyada de manera semblant a la llanta de les rodes posteriors: estarà feta de plàstic i el gran inconvenient que presentarà serà el major pes que pot tenir. Tenint en

compte el fet que es tracta d'una roda de mida reduïda, la diferència de pes entre una llanta radial i una llanta de plàstic és insignificant en comparació amb el pes total de la cadira de rodes. Tot i així, s'ha buscat un disseny de llanta que minimitzi el pes d'aquesta tot eliminant parts de material que no suportin càrrega. La solució adoptada ha sigut eliminar material de la part central i crear una estructura de cinc radis amb els seus respectius nervis laterals per a un major repartiment de càrregues.

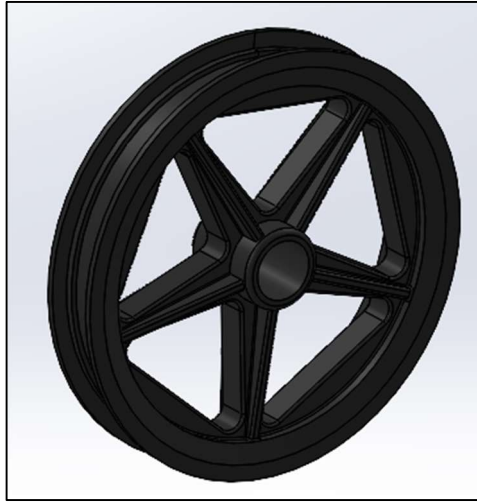


Figura 4.13 Llanta de la roda davantera (Font: Pròpia)

El recobriments de la llanta amb la roda serà amb el mateix disseny que s'ha utilitzat en les rodes posteriors: un encaix en forma de doble esglaó que no permeti el desplaçament de la roda en cap de les direccions.

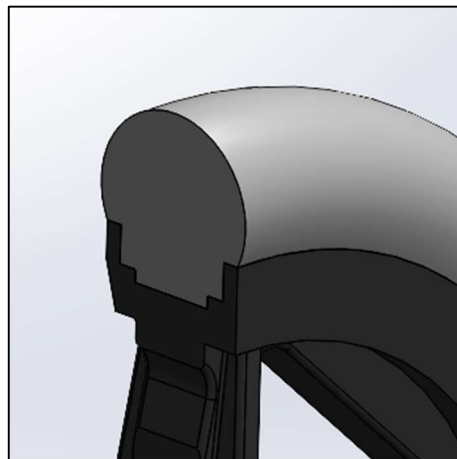


Figura 4.14 Recobriments de la llanta de la roda davantera (Font: Pròpia)

La gran diferència entre les rodes anteriors i posteriors recau en la capacitat de pivotar de les primeres. Es per això que l'acoblament de les rodes anteriors al xassís serà completament diferent al utilitzat amb les rodes posteriors. En aquest cas necessitarem d'un doble eix per permetre tant el moviment d'avanç com un moviment de gir complet de la roda. Necessitarem una peça que uneixi aquests dos eixos, que anomenarem pivot.

El primer eix serà el que permetrà el gir de la roda sobre el seu propi eix de revolució per permetre el moviment d'avanç. Aquest eix estarà format per una barra roscada que contindrà entre dues femelles de mida M8 la llanta, dues volanderes per evitar deformacions a la llanta i el pivot. A l'interior de la llanta hi haurà un rodament de boles per facilitar el gir de la roda i conseqüentment ajudar a la comoditat de l'usuari alhora de moure's. També s'hi col·locarà un tub que tindrà la funció d'ajustar correctament l'encaix entre la barra roscada M8 i el rodament.

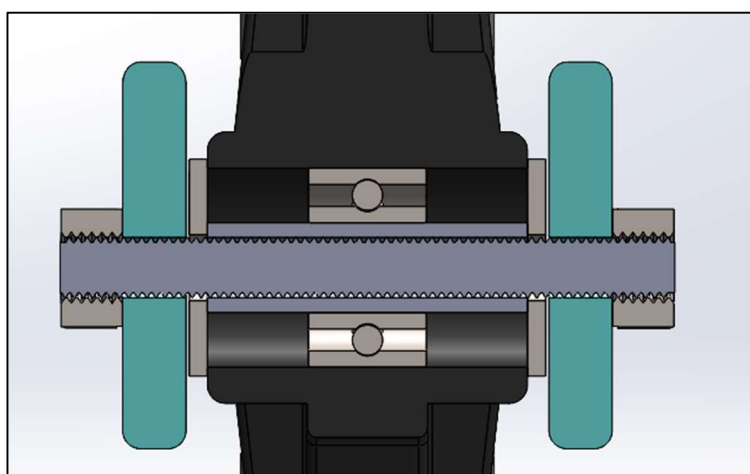


Figura 4.15 Vista de secció del primer eix de la roda davantera (Font: Pròpia)

El segon eix és el que permetrà el moviment de pivotatge de la roda davantera, que dotarà de major mobilitat a la cadira de rodes alhora de girar. Aquest eix serà un cargol que unirà la part superior de la peça encarregada de subjectar la roda davantera amb el xassís. Aquest cargol estarà fixat per una femella i contindrà una volandera que contactarà entre xassís i femella per complir una doble funció: per una banda, protegirà l'interior del mecanisme de la pols i petites brosses que puguin afectar al correcte funcionament del pivotatge de la roda, i per l'altra, impedirà possibles deformacions i danys a peces importants com el xassís. Dins del mecanisme del segon eix hi haurà un rodament de boles que facilitarà el gir de pivotatge de la roda davantera. A més, també hi haurà un tub que es situarà entre eix i rodament per acabar d'ajustar l'encaix entre aquestes dues peces. Finalment, cal fer esment del coixinet que hi

haurà entre el xassís i la peça que permet el pivotatge. Aquest coixinet també té dues funcions: la primera és esmorteir possibles moviments deguts a irregularitats de la superfície del terreny, ja que la roda dissenyada al no ser pneumàtica perd capacitat d'escoriment; la segona funció és acabar de regular l'alçada de les rodes davanteres per poder aconseguir una inclinació del seient de 3° , el que millora la comoditat de l'usuari.

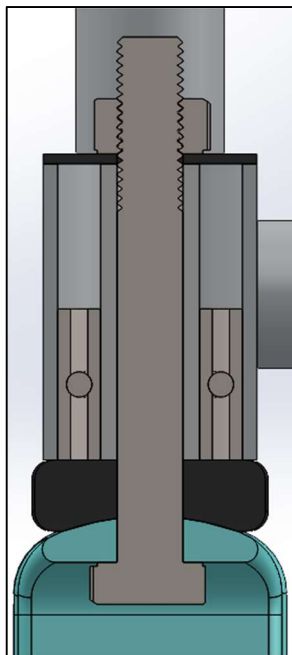


Figura 4.16 Vista de secció del segon eix de la roda davantera (Font: Pròpia)

4.5. Braços

Els dos braços de la cadira de rodes tenen una estructura tubular de 22.5 mm de diàmetre exterior per 15.5 mm de diàmetre interior. Aquests, aniran acoblats a la part fixa del xassís a partir de prolongacions també tubulars de diàmetre exterior de 17.5 mm i diàmetre interior de 15 mm amb un ajustament amb collament. La distància entre els eixos dels braços quan la cadira estigui estesa, i per tant, en posició de servei serà d'uns 476 mm aproximadament. La seva alçada respecte el seient serà de 181.6 mm.

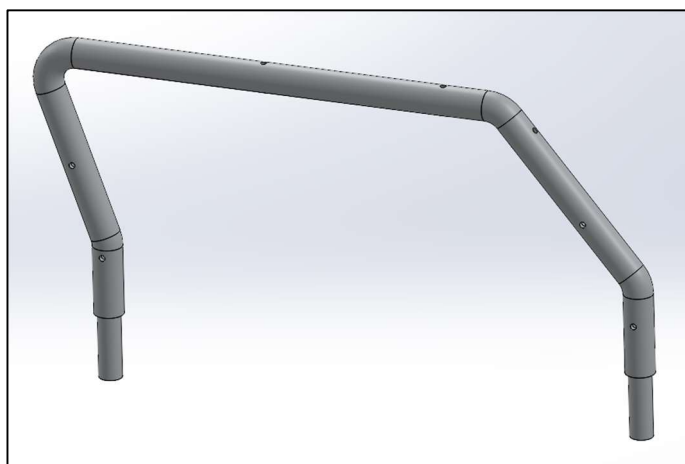


Figura 4.17 Estructura principal del braç dret (Font: Pròpia)

Pel que fa als complements que s'ajuntaran als braços de la cadira de rodes, els més rellevants seran els coixins reposabraços. Aquests tenen la funció de fer més còmode el recolzament dels braços de l'usuari de la cadira de rodes ja que, sense ells, el recolzament seria directament sobre l'estructura tubular. Els coixins estaran fets d'un material suficientment tou com per ser còmode però mantenint una certa rigidesa per evitar donar la sensació que els braços se't enfonsen a la cadira. Els coixins reposabraços recobriran la part superior dels braços de la cadira i aniran acoblats a aquests per mitjà de tres cargols de cap pla avellanat M4.

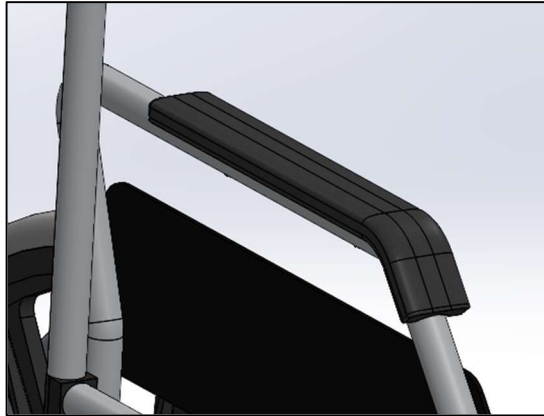


Figura 4.18 Coixí reposabraços (Font: Pròpia)

L'altre complement acoblat als braços de la cadira de rodes seran els guarda-robes. Tal i com el seu nom indica, aquestes proteccions laterals tenen l'objectiu de prevenir enganxades o taques de la roba degut a fregaments amb les rodes posteriors de la cadira. Estaran fetes d'un material plàstic de poc gruix, ja que es situarà en l'espai comprès entre els braços i les rodes posteriors i acoblades als braços mitjançant quatre cargols M4. Els guarda-robes protegiran fins a una alçada de 111.1 mm.



Figura 4.19 Guarda-roba acoblada a l'estructura del braç (Font: Pròpia)

4.6. Reposapeus

Els reposapeus estaran constituïts per tres peces: l'estructura principal, el peu i un topall. Pel que fa a l'estructura principal, aquesta tindrà una forma tubular de 14 mm de diàmetre exterior i 8.5 mm de diàmetre interior que anirà acoblada al xassís introduint-se a les prolongacions d'aquest preparades per suportar els reposapeus. L'angle dels reposapeus serà de 75°.



Figura 4.20 Reposapeus en posició de servei (Font: Pròpia)

Aquesta part de la cadira de rodes està dissenyada perquè sigui plegable. És per això que el disseny s'ha fet pensant que cap de les peces que comprenen els reposapeus interfereixi en el pla de plegament de la cadira de rodes. I en el cas que ho facin, tinguin la capacitat de plegar-se sobre aquest pla. Un exemple seria les plaques que formen els peus de la cadira de rodes. Aquestes han de situar-se en una posició perpendicular al pla de plegament en la seva posició de servei. És per això que s'ha fet que els peus puguin plegar-se 90°. Els topalls perquè aquestes peces no es desplacin més del compte són els propis reposapeus. S'ha dissenyat de tal manera que quan el peu està en posició de servei la part inferior d'aquest contacti amb la barra del reposapeus i no permeti el gir. En canvi, quan els peus estan en posició de plegament és la part superior la que contacta amb la barra del reposapeus.



Figura 4.21 Reposapeus en posició de plegament (Font: Pròpia)

Una altra característica dels reposapeus és que són regulables. El mètode per aconseguir-ho serà un cargol M8 que contactarà amb pressió amb el reposapeus i la rosca es situarà en la part del reposapeus que forma part del xassís. D'aquesta manera, si s'aplica una força suficient, el cargol crea una resistència en forma de element de fricció amb el reposapeus que impedeix que aquest es desplaci. La gran avantatge d'aquest mètode resideix en la possibilitat de regular amb posicions infinites, enlloc de tenir ranures marcades i trobar-nos amb el cas que a l'usuari li quedi massa llarga una ranura mentre que també trobi massa curta la ranura anterior.

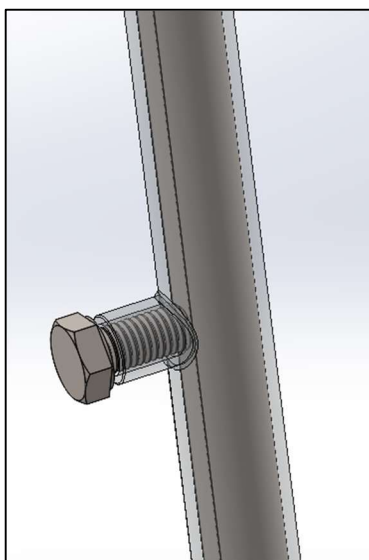


Figura 4.22 Mètode de subjecció i regulació del reposapeus (Font: Pròpia)

4.7. Seient

El seient de la cadira de rodes serà la part que s'encarregarà de suportar tant les natges com la zona isquiotibial de l'usuari. És per això que es buscarà comoditat, sempre tenint en compte que la cadira de rodes és plegable. Per tant, el tipus de seient serà flexible i estarà fet d'un teixit de niló per millorar la comoditat.

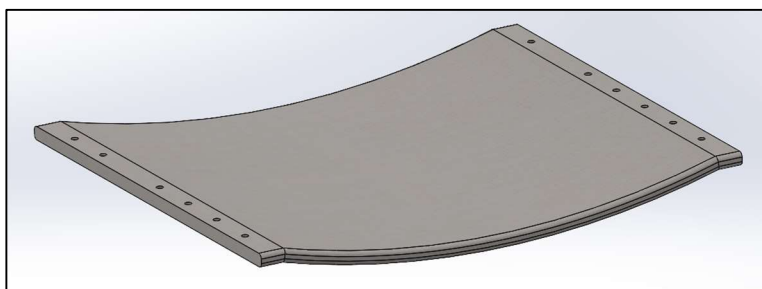


Figura 4.23 Seient de la cadira de rodes en posició de servei (Font: Pròpia)

Pel que fa a les dimensions del seient, aquest serà d'una amplada útil de 413 mm. És a dir, aquesta serà l'amplada màxima del seient aprofitable per l'usuari quan la cadira de rodes estigui en posició de servei. La profunditat d'aquest serà de 372 mm i es situarà a una distància de 9.75 mm dels tubs verticals del xassís. Es compta amb un gruix de 12 mm. El seient es situarà a una alçada de 543 mm. Hem de tenir en compte que aquesta alçada està presa des del terra, no pas des del pla dels reposapeus. És per això que és més elevada que l'alçada recomanable per a un seient d'una cadira. Finalment, s'ha de mencionar que el seient de la cadira tindrà un angle de 3° respecte al pla del terra. Això provoca una millora en la comoditat de l'usuari i ajuda a una postura corporal més saludable.

En relació a com anirà fixat el seient, ens interessa que aquest sigui fàcilment desmuntable i intercanviable per un altre en cas de necessitat. És per això que utilitzarem cargols i femelles per fixar-lo a la part del xassís mòbil. En concret, disposarem de 6 forats per banda de diàmetre 6 mm. D'aquesta manera ens assegurarem que el seient no es desplaça respecte el xassís i alhora no el mantenim fixe indefinidament, sinó que permetem el seu recanvi.

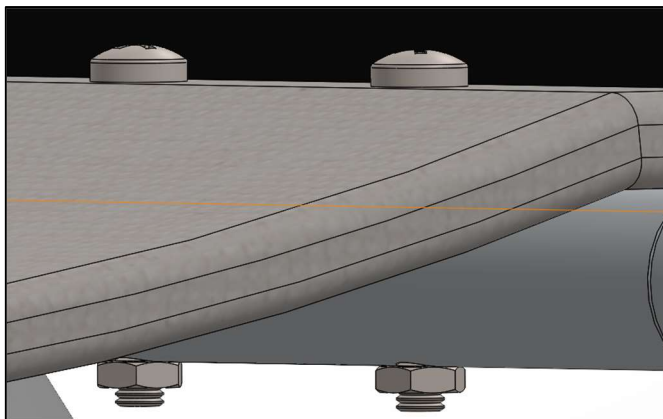


Figura 4.24 Fixació del seient amb el xassís (Font: Pròpia)

4.8. Respatller

El respatller serà la part que s'encarregui de suportar l'esquena de l'usuari. Necessitarà d'unes característiques semblants a les que es sol·licitaven al seient: comoditat i flexibilitat. Per tant, el respatller també haurà d'estar fet d'un material tèxtil, per permetre així el seu plegament. En aquest cas s'ha apostat pel mateix que el seient.

Pel que fa a les dimensions del respatller, aquest tindrà una amplada útil de 400.6 mm i ocuparà una alçada de 427 mm respecte el seient de la cadira de rodes. Ara bé, hi haurà una certa folgança entre el seient i el respatller. Aquesta folgança serà de 127 mm i permetrà a l'usuari adoptar diverses postures i, per tant, una major comoditat durant l'ús de la cadira de rodes. Així doncs, l'alçada material del respatller és de 300 mm. D'aquesta manera, el seient suportarà la major part de l'esquena: des de la zona lumbar fins a la meitat de la zona escapular. El gruix del respatller serà de 7 mm.

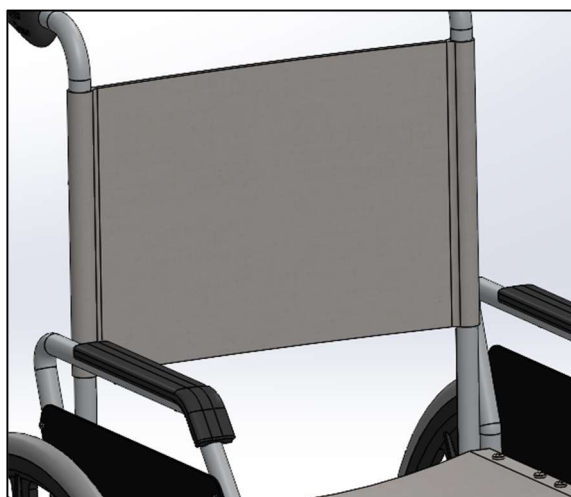


Figura 4.25 Respatller de la cadira de rodes (Font: Pròpia)

La fixació del respatller amb el xassís de la cadira de rodes serà dut a terme per mitja de dos cargols de cap pla avellanat de mida M8. D'aquesta manera impedim que el respatller es desplaci pels tubs verticals de la part fixa del xassís de la cadira de rodes alhora que permet intercanviar fàcilment el respatller en cas de necessitat.

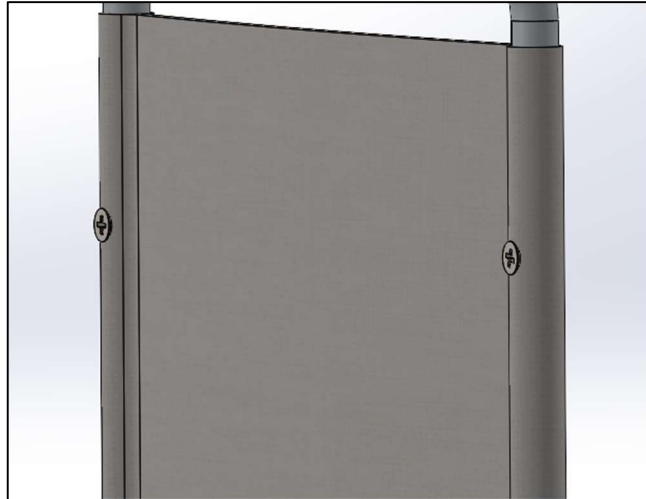


Figura 4.26 Fixació del respall amb el xassís de la cadira de rodes (Font: Pròpia)

4.9. Frens

Els frens de la cadira de rodes dissenyada seguiran el model d'un fre de sabata. Aquest tipus de fre permet fixar les rodes posteriors mitjançant l'accionament d'una palanca. El contacte es crea entre la roda posterior i l'escombreta del fre. A partir de la fregament que es produeix en aquest contacte, la roda posterior queda immobilitzada. És per això que es necessiten dos frens: un per a la roda posterior dreta i l'altre per a la roda posterior esquerra.

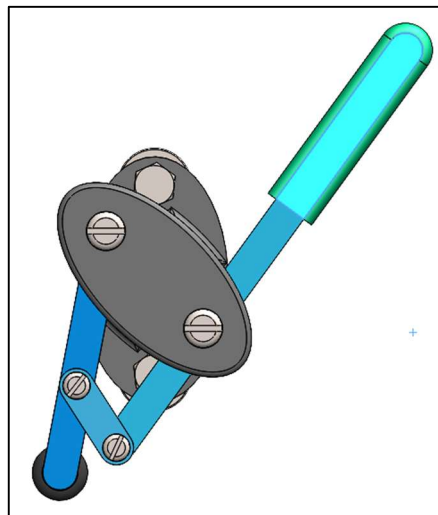


Figura 4.27 Fre en posició de repòs (Font: Pròpia)

L'estructura principal del fre estarà composta per tres barres: una que servirà de palanca d'accionament, una que farà la funció de contactar amb la roda posterior i l'última que unirà les dues primeres. A la primera barra se li acoblarà un mànec per fer-la més còmode al tacte de l'usuari i a l'última una escombreta per augmentar la superfície de contacte amb la roda posterior. La gran avantatge d'aquests frens és que gràcies a la pròpia geometria del moviment de les tres barres, es permet bloquejar la posició del fre i, per tant, mantenir-lo en posició de servei sense cap esforç. Tant la primera barra esmentada com la tercera aniran fixades al cos del fre, amb una funció purament de bancada del mecanisme.

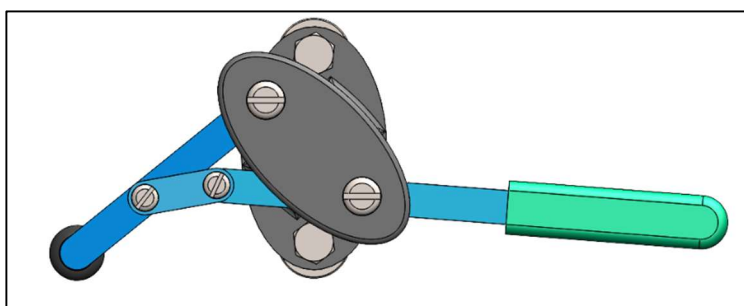


Figura 4.28 Fre en posició de servei (Font: Pròpia)

Finalment s'han d'esmentar els elements que permetran la unió i la fixació de les diferents parts dels frens de la cadira de rodes. Les barres aniran unides mitjançant cargols de mida M3 amb les seves respectives femelles. Pel que fa a la fixació de les barres amb la bancada, aquesta es durà a terme gràcies també a dos cargols de mida M4, també amb les seves respectives femelles. I per últim, els frens aniran acoblats al xassís fix de la cadira de rodes a partir d'una abraçadora, que també es fixarà al cos del fre a través de dos cargols de mida M5 i les seves respectives femelles.

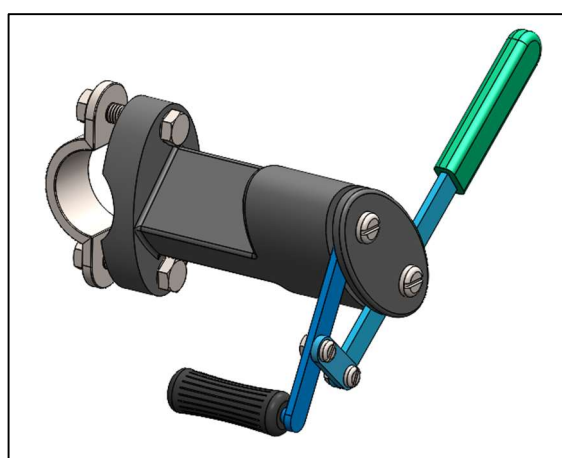


Figura 4.29 Estructura completa del fre dret (Font: Pròpia)

5. Selecció dels materials

La selecció dels materials és una part essencial quan es dissenya un objecte o mecanisme. És important encertar amb els materials utilitzats, contràriament les conseqüències poden ser nefastes: des de fallades estructurals fins a impossibilitats de moviment, passant per sobrepesos de les peces, etc. A més, no tots els materials tenen el mateix preu: podem trobar dos materials amb característiques mecàniques semblants però un més car que l'altre. Això marcarà el preu final del producte i, per tant, el nivell adquisitiu del client a qui va dirigit. Tot això són exemples diversos per adonar-nos que s'ha de ser curós en aquest aspecte i tenir les idees clares de què volem.

Alhora d'escollir els materials dels que estaran compostes les diferents peces que conformen la cadira de rodes, és necessari prèviament establir uns certs criteris. Aquests criteris no són disjuntius i van interrelacionats. Al cap i a la fi, hem d'aconseguir que el material escollit compleixi tots els criteris sense deixar-ne cap de banda. Lògicament, hi haurà una certa jerarquia, i en cas d'haver de prendre una decisió entraran en joc altres aspectes com per exemple la seguretat o els terminis d'entrega...

5.1. Criteris de selecció

Per a la selecció dels materials a la nostra cadira de rodes ens basarem en quatre criteris. Aquests seran: producció amb els materials més barats possibles, aconseguir el menor pes possible, prestar atenció a la fricció de les rodes amb el terra i ser conscients del consum d'energia dels materials emprats.

Menor pes possible

Amb aquest criteri es vol aconseguir que totes les peces siguin el més lleugeres possibles, ja que, al cap i a la fi combinant aquest criteri amb els següents, com menys pesi la cadira, menys gastarem en materials. Això significa que s'han de buscar materials que tinguin una bona relació entre la resistència mecànica i la massa del material. Tenint en compte que la resistència mecànica del material la marcarà el límit elàstic (quantificat amb la tensió de fluència), la relació entre massa i la resistència mecànica la podem obtenir relacionant les següents expressions:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot L \cdot A \quad (\text{Eq. 5.1})$$

$$\sigma_F = \frac{F}{A} \cdot f_S \rightarrow A = \frac{F}{\sigma_F} \cdot f_S \quad (\text{Eq. 5.2})$$

$$m = \rho \cdot L \cdot \frac{F}{\sigma_F} \cdot f_S \quad (\text{Eq. 5.3})$$

On:

- m = Massa (kg)
- ρ = Densitat (kg/m³)
- V = Volum (m³)
- L = Longitud (m)
- A = Àrea (mm²)
- σ_F = Tensió de fluència (MPa)
- F = Força (N)
- f_S = Factor de seguretat

Si el que volem aconseguir és minimitzar la massa, i tenint en compte que tant la longitud com la força i el factor de seguretat són constants, hem de minimitzar la relació de la densitat respecte la tensió de fluència.

$$m (\min) \rightarrow \frac{\rho}{\sigma_F} (\min) \quad (\text{Eq. 5.4})$$

Ara bé, en la Figura 5.1 se'ns mostra una gràfica dels materials en funció de la tensió de fluència respecte la densitat. És per això que haurem de maximitzar aquesta relació per obtenir la mínima massa possible.

$$m (\min) \rightarrow \frac{\sigma_F}{\rho} (\max) \quad (\text{Eq. 5.5})$$

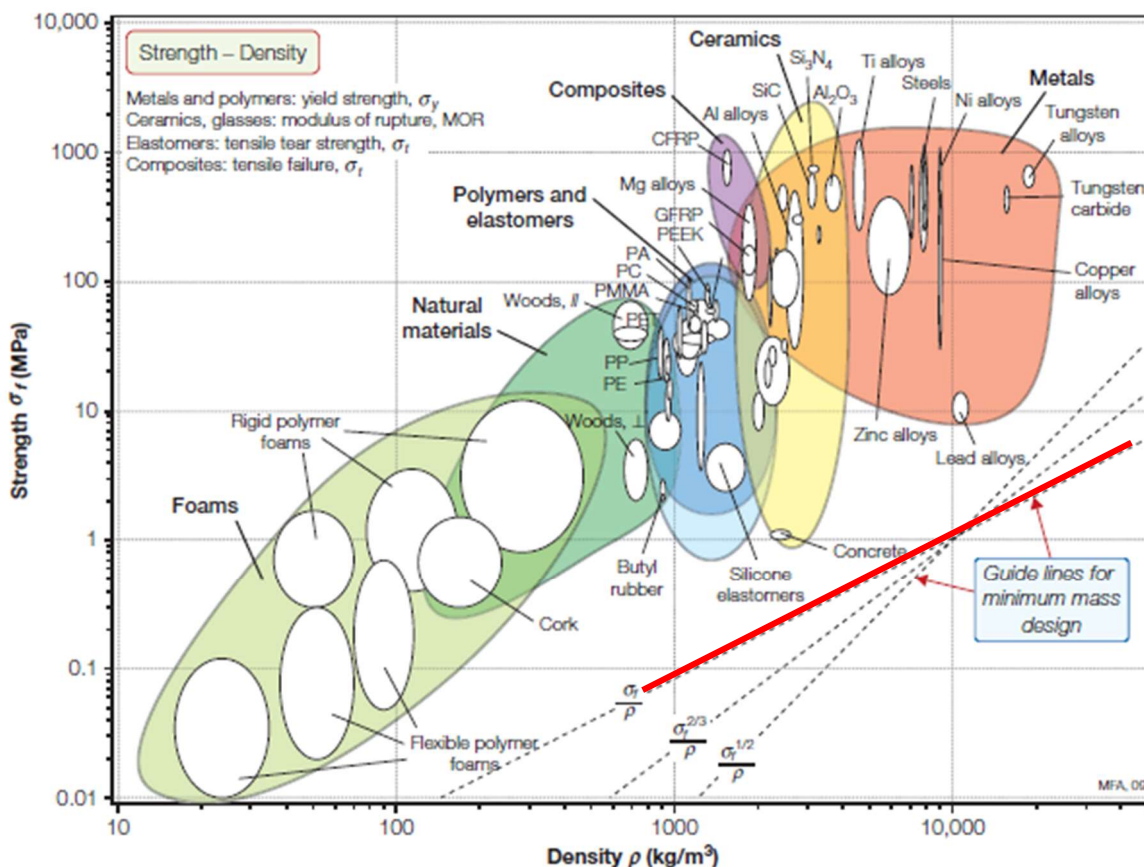


Figura 5.1 Tensió de fluència σ_f respecte la densitat ρ (Font: Materials Selection in Mechanical Design)

Tal i com podem observar a la Figura 5.1, la distribució dels materials ens mostra que els materials més lleugers són els foams. Però alhora, aquests suporten una tensió de fluència d'entre 0 i 10 MPa. A l'altre extrem hi tindriem els metalls: suporten una gran tensió de fluència però tenen densitats elevades. Si el que volem és minimitzar aquesta relació haurem de traçar línies paral·leles a la línia de Disseny de Massa Mínima (ressaltada en vermell).

Menor cost possible

El segon criteri que imposarem alhora de seleccionar els nostres materials serà que tinguin el mínim cost econòmic possible. Aquest, va enfocat purament a un objectiu de mercat. El que volem aconseguir és una cadira de rodes accessible per a tothom i, per tant, haurem de fer servir materials barats. En canvi, si volguéssim dissenyar una cadira de rodes exclusiva o amb algunes funcionalitats especials, no li donariem pas importància a aquest criteri. Introduint el concepte de cost relatiu, el podem relacionar amb la massa del material de la següent manera:

$$m = \frac{Preu}{C_R} \rightarrow Preu = m \cdot C_R \quad (\text{Eq. 5.6})$$

On:

- m = Massa (kg)
- Preu = Preu econòmic absolut (u.m.)
- C_R = Cost relatiu del material (u.m./kg)

I aprofitant la Equació 5.3 de l'apartat anterior podem relacionar la tensió de fluència amb el cost relatiu per unitat de volum.

$$Preu = \rho \cdot L \cdot \frac{F}{\sigma_F} \cdot f_S \cdot C_R = L \cdot \frac{F}{\sigma_F} \cdot f_S \cdot C_{V,R} \quad (\text{Eq. 5.7})$$

On:

- L = Longitud (m)
- F = Força (N)
- σ_F = Tensió de fluència (MPa)
- f_S = Factor de seguretat
- $C_{V,R}$ = Cost relatiu per unitat de volum (u.m./m³)

Si el que volem aconseguir és minimitzar el preu, i tenint en compte que tant la longitud com la força i el factor de seguretat són constants, hem de minimitzar la relació del cost relatiu per unitat de volum respecte la tensió de fluència.

$$Preu (\min) \rightarrow \frac{C_{V,R}}{\sigma_F} (\min) \quad (\text{Eq. 5.8})$$

Ara bé, en la següent figura 5.2 se'ns mostra una gràfica dels materials en funció de la tensió de fluència respecte el cost relatiu per unitat de volum. És per això que haurem de maximitzar aquesta relació per obtenir la mínima massa possible.

$$Preu (\min) \rightarrow \frac{\sigma_F}{C_{V,R}} (\max) \quad (\text{Eq. 5.9})$$

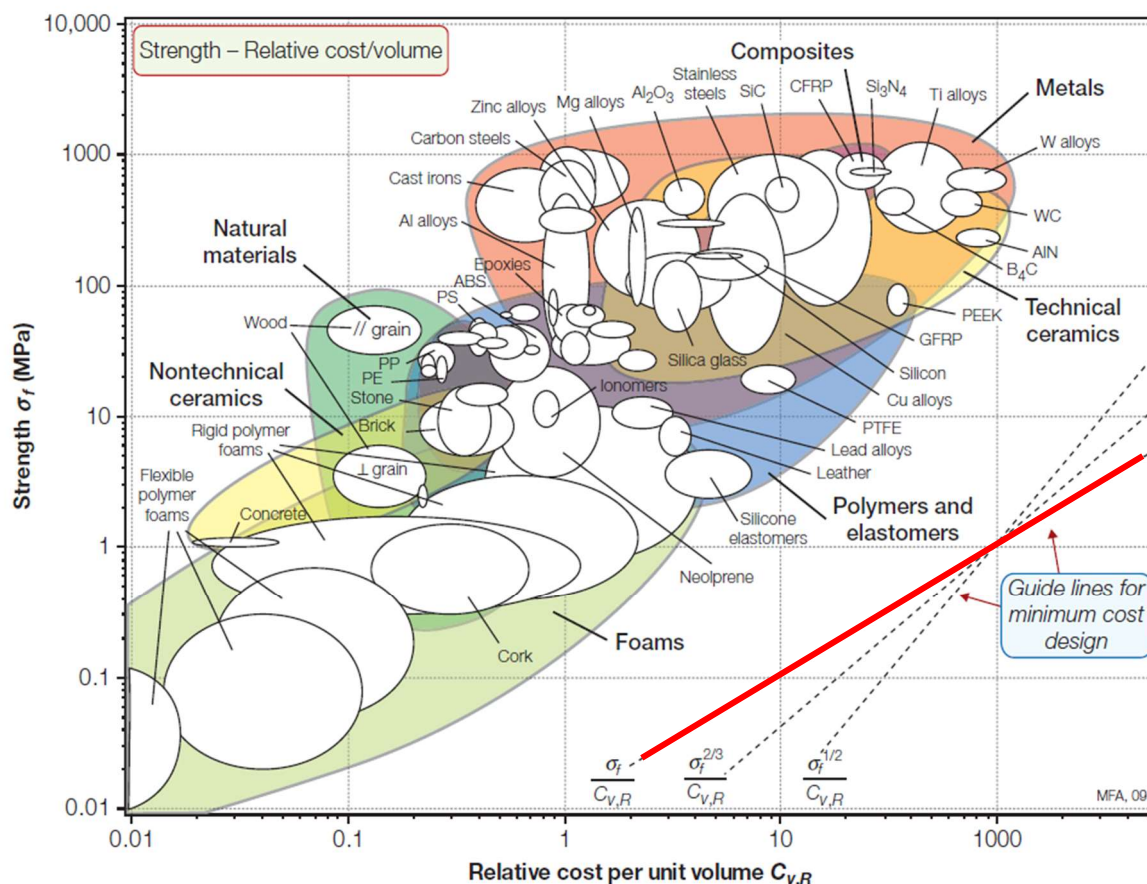


Figura 5.2 Tensió de fluència σ_r respecte el cost relatiu per unitat de volum $C_{v,R}$ (Font: Materials Selection in Mechanical Design)

Tal i com podem observar a la Figura 5.2, la distribució dels materials ens mostra que els materials més barats per unitat de volum són els foams. Però alhora, aquests suporten una tensió de fluència molt baixa. A l'altre extrem hi tindriem les ceràmiques tècniques: suporten una bona tensió de fluència però tenen un gran cost econòmic. Si el que volem és minimitzar aquesta relació haurem de traçar línies paral·leles a la línia de Disseny de Cost Mínim (ressaltada en vermell).

Màxima fricció

És important destacar que aquest criteri va únicament dirigit al material del que estaran compostes les rodes de la cadira. Ens interessa que pugui tenir una bona adherència amb el terra, ja que així podrem assegurar una certa versatilitat alhora de rodar per diferents superfícies.

La fricció apareix quan dues superfícies contacten i llisquen. Aquesta es mesura amb el coeficient de fricció μ .

$$\mu = \frac{F_s}{F_n} \quad (\text{Eq. 5.10})$$

On:

- μ = Coeficient de fricció
- F_s = Força de fregament
- F_n = Força normal

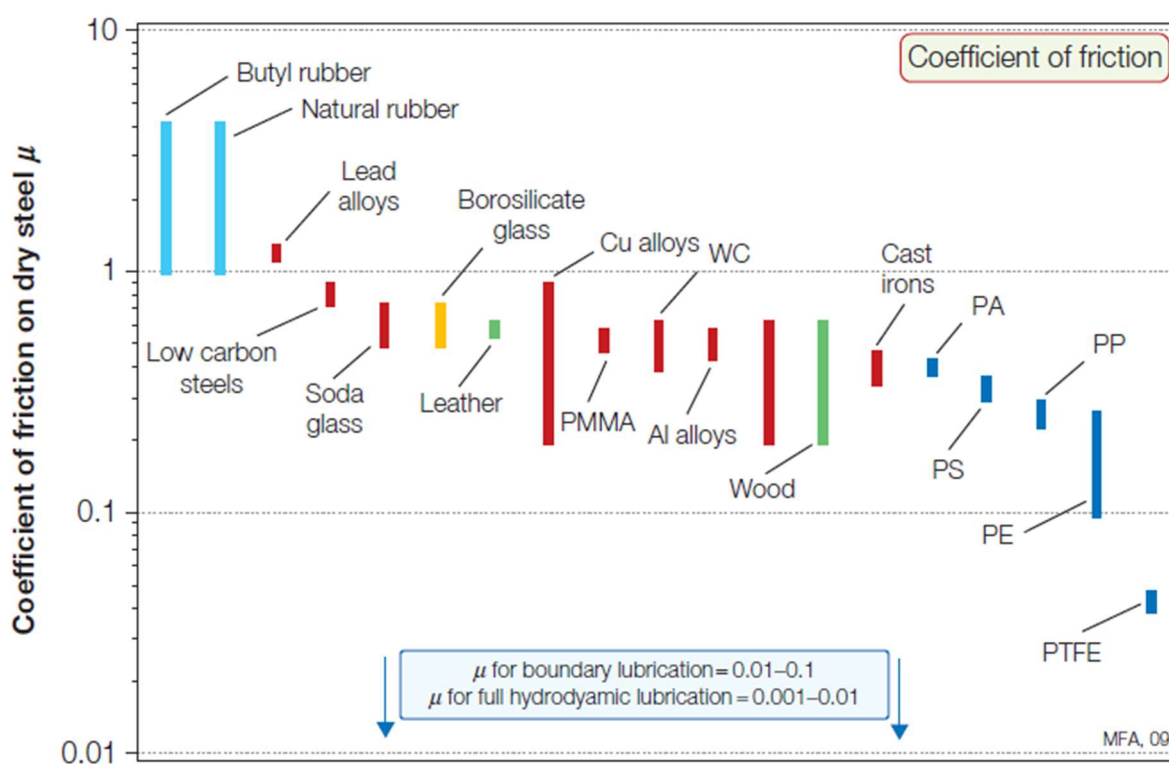


Figura 5.3 Coeficient de fricció μ per a diferents materials sobre una superfície seca d'acer (Font: Materials Selection in Mechanical Design)

De la Figura 5.3 podem extreure que els materials amb major coeficient de fricció són els cautxús: tant el natural com el butílic presenten les mateixes característiques i estan en ambdós casos amb uns valors de μ d'entre 1 i 5. Això significa que la força de fregament és d'entre un 100% i un 500% de la força normal en el contacte entre aquests materials i una superfície seca d'acer. En l'altre extrem hi tenim diferents polímers com el politetrafluoroetilè o el polietilè. Aquests materials llisquen molt fàcilment i no presenten resistència de fricció.

Mínim consum d'energia

L'últim criteri que impossem és que els materials dels que estigui feta la cadira de rodes siguin del menor impacte ambiental possible. Una manera d'aconseguir-ho és que aquests materials consumeixin la mínima energia. Creiem que aquest és un punt important ja que actualment hem de tenir en compte la sostenibilitat d'allò que dissenyem.

Tots els materials que conformen un objecte dissenyat consumeixen certa energia. Aquesta energia consumida es pot dividir en diferents fases: obtenció, manufactura, transport i ús. També podem afegir l'energia que es consumeix en el reciclatge d'aquest material. Aquesta energia prové majoritàriament de la crema de combustibles fòssils, ja sigui per intervenir-hi de forma directa o no (per exemple per produir l'electricitat que requereix la producció, manufactura, ús, transport o reciclatge del material en qüestió). L'energia que es consumeix en la producció d'un kilogram de material s'anomena *energia incorporada* i la prendrem com un indicador de la sostenibilitat dels materials.

Els millors materials per minimitzar l'energia incorporada amb una tensió de fluència específica seran aquells amb un major valor de:

$$\frac{\sigma_F}{H_p \cdot \rho} \quad (\text{Eq. 5.11})$$

On:

- σ_F = Tensió de fluència (MPa)
- H_p = Energia incorporada (MJ/kg)
- ρ = Densitat (kg/m³)

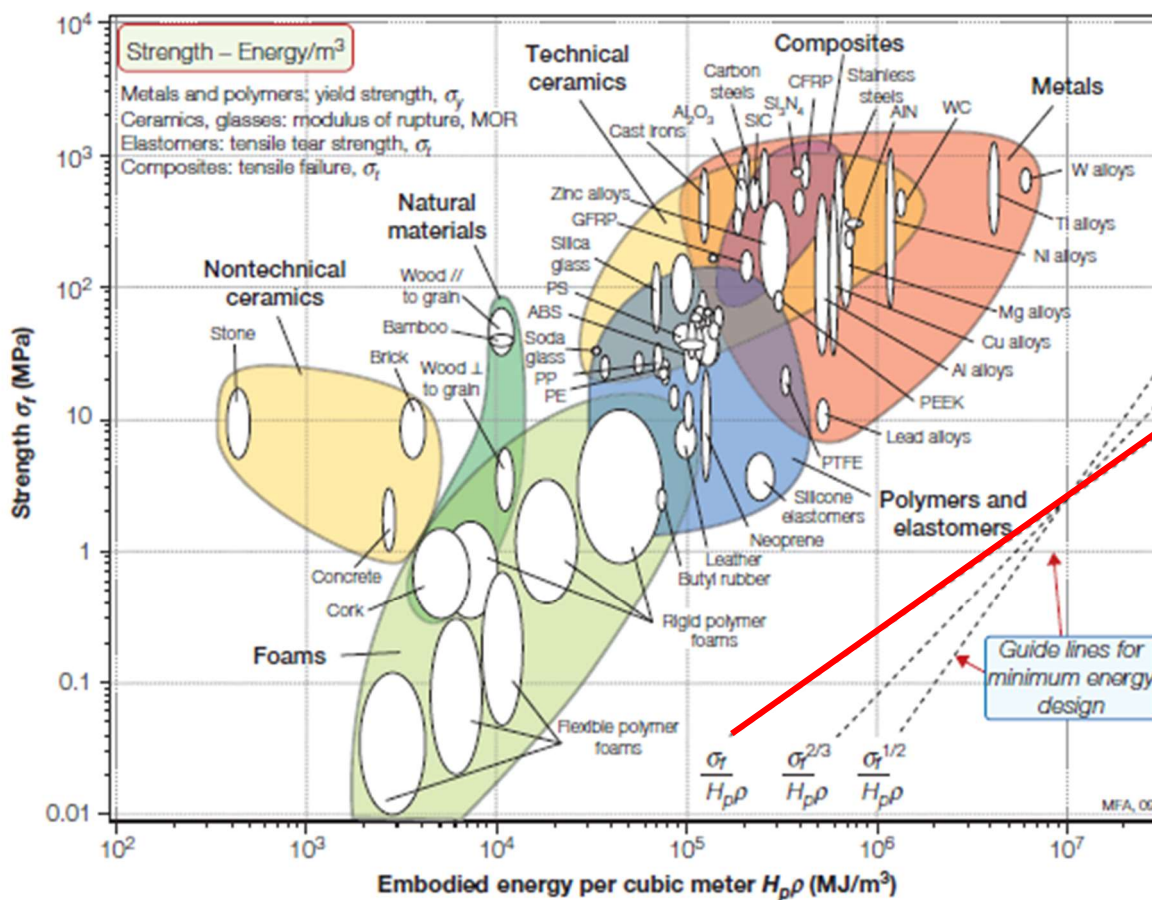


Figura 5.4 Tensió de fluència σ_f respecte l'energia incorporada per unitat de volum $H_p \rho$ (Font: Materials Selection in Mechanical Design)

D'aquesta manera tenim la figura 5.4, que ens mostra la distribució dels materials sota la relació entre la tensió de fluència i l'energia incorporada per unitat de volum. Si el que volem és obtenir una relació mínima entre aquestes dues variables haurem de traçar línies paral·leles a la línia de Disseny d'Energia Mínima (ressaltada en vermell).

5.2. Materials seleccionats

A continuació es mostrarà una taula que recull tots els materials utilitzats en el disseny de la cadira de rodes.

Taula 5.1 Materials seleccionats per al disseny de la cadira de rodes (Font: Pròpia)

MATERIAL	PECES	JUSTIFICACIÓ
<i>Poliuretà termoplàstic</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Rodes posteriors - Rodes anteriors - Mànecs de la cadira - Mànecs dels frens - Protector xassís fix - Reposabraços - Tapets reposapeus - Coixinet del pivot - Escombreta del fre 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta resistència a l'abradió - Els poliuretans termoplàstics tous presenten un bon coeficient de fricció. - Possibilitat d'ésser reciclat - $H_p\rho = 95$ MJ/kg
<i>Polietilè d'alta densitat</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Llantes anteriors - Llantes posteriors - Corredisses xassís mòbil - Tapets xassís mòbil - Reposapeus - Tapes rodes posteriors - Guardarobes 	<ul style="list-style-type: none"> - Dels millors polímers en quant a relació entre resistència mecànica i cost per unitat de volum - Fàcilment reciclable - $H_p\rho = 90 - 100$ MJ/kg
<i>Niló 6/6</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Seient - Respatller 	<ul style="list-style-type: none"> - Llarga vida útil - Bona resistència mecànica - Amplia utilitat en el sector tèxtil - $H_p\rho = 110$ MJ/kg
<i>Acer inoxidable (1.4301)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Xassís fix - Xassís mòbil - Peus - Braços - Complement xassís mòbil - Abraçadora - Elements normalitzats 	<ul style="list-style-type: none"> - Bona resistència a la corrosió - Excel·lent soldabilitat - Baix cost econòmic - 100 % reciclable - $H_p\rho = 70 - 80$ MJ/kg
<i>Alumini 2011-T6</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Frens - Cèrcol d'autopropulsió - Pivots 	<ul style="list-style-type: none"> - Bona relació entre resistència mecànica i densitat - Bona resistència mecànica - 100% reciclable - $H_p\rho = 130 - 140$ MJ/kg

6. Mètodes d'unió

6.1. Elements normalitzats

Els elements normalitzats són peces prèviament dissenyades seguint una normativa estandarditzada, com poden ser la ISO, la ANSI, la DIN... Això permet que el model de la peça sigui el mateix per a tothom i, per tant, siguin peces exactament iguals independentment de l'ús que se li donin o el lloc on hagin estat fabricades. La gran avantatge dels elements normalitzats és que quan són utilitzats es produeix una gran reducció dels costos de fabricació i de producció.

Per a la unió, fixació, facilitació del gir o protecció d'alguns components de la cadira de rodes ha sigut necessària la presència d'elements normalitzats com cargols, femelles, rodaments o volanderes. A continuació es mostra una taula amb tots els elements normalitzats utilitzats en aquest projecte i l'ús que se'ls hi ha donat a cadascun.

Taula 6.1 Elements normalitzats utilitzats i ús donat (Font: Pròpia)

CARGOLS	
<i>ISO 1580</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Unió entre les palanques dels frens (M3 x 6) - Unió entre les palanques 1 i 3 del fre i el cos del fre (M4 x 35)
<i>ISO 2009</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Unió entre els braços de la cadira i els reposabraços (M4 x 25)
<i>ISO 4014</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Unió del xassís mòbil dret amb el xassís mòbil esquerre (M12 x 65 x 30) - Funció d'eix del pivot de les rodes anteriors (M10 x 80 x 26) - Unió del cos del fre amb l'abraçadora (M5 x 25)
<i>ISO 4017</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Element de fixació i regulació dels reposapeus (M8 x 16)
<i>ISO 7045</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Unió dels cercols d'autopropulsió amb les llantes posteriors (M4 x 8) - Unió entre els braços de la cadira i els guardarobes (M4 x 10) - Unió del seient amb el xassís (M6 x 40)
<i>ISO 7046-1</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Unió entre respall i xassís (M8 x 12)

FEMELLES

<p>ISO 4032</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fixació de les rodes posteriors amb el xassís (M10) - Fixació de l'eix del pivot de les rodes anteriors (M10) - Fixació del xassís mòbil dret amb el xassís mòbil esquerre (M12) - Fixació de l'eix de les rodes anteriors (M8) - Fixació de les palanques 1 i 3 amb el cos del fre (M4) - Fixació del cos del fre amb l'abraçadora (M5)
<p>ISO 4035</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fixació del seient amb el xassís (M6) - Fixació entre les palanques del fre (M3)

RODAMENTS

<p>ISO 15 RBB</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Facilitació del gir de les rodes anteriors (4910) - Facilitació del gir de les rodes posteriors (4917) - Facilitació del pivotatge de les rodes anteriors (6915)
-------------------	--

VOLANDERES

<p>ISO 10673</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Protecció de les llantes anteriors (L – 8)
------------------	--

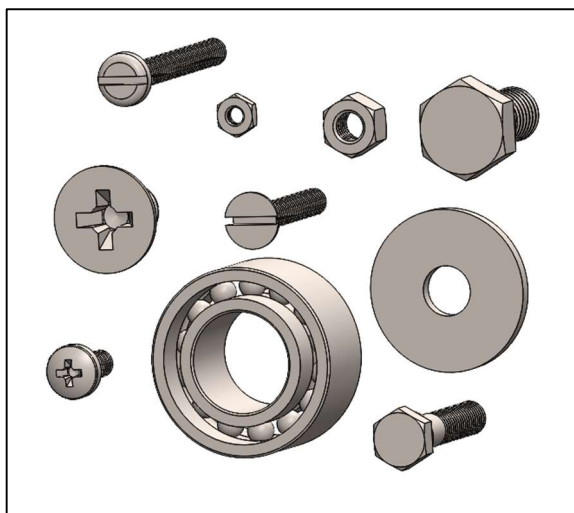


Figura 6.1 Elements normalitzats utilitzats (Font: Pròpia)

6.2. Soldadures

Algunes de les peces dissenyades per a la cadira de rodes requeriran d'una unió per soldadura. Seran aquelles l'estructura de les quals sigui tubulada i necessitin de dos o més tubs. Tenint sempre en compte que estem parlant de parts metàl·liques. En aquest cas estarem parlant tant del xassís fix com del xassís mòbil, dels peus de la cadira de rodes, del complement del xassís fix i dels cercols d'autopropulsió.

Per a la soldadura d'aquestes parts s'ha escollit la soldadura MIG (*Metal Inert Gas*). Aquesta és una soldadura per fusió per arc. El procés es completa amb el contacte de l'arc amb el material a soldar i, aquest, necessita d'un fil de soldadura. El que realment caracteritza aquest tipus d'unió per soldadura és l'ús d'un gas per protegir l'arc voltaic de l'atmosfera, i més concretament, de l'oxigen, ja que aquest, al ser reactiu, provocaria una oxidació tant en l'arc com en el bany de fusió. Els gasos que es poden utilitzar en la soldadura MIG son gasos inerts com l'argó i l'heli.

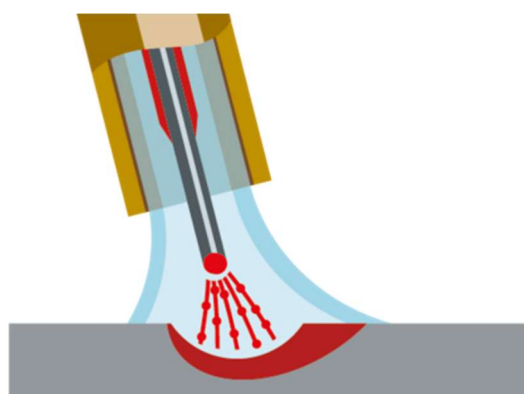


Figura 6.2 Soldadura MIG (Font: Lorch)

A més, la soldadura MIG és ideal en casos d'aliatges d'alumini i acers inoxidables, precisament els materials escollits per a les peces metàl·liques que estaran subjectes a soldadura. Tot i això, el motiu pel qual s'ha escollit aquest tipus de soldadura és perquè es tracta d'una soldadura molt fàcil de realitzar i ràpida de fer. Això provoca que els costos de mà d'obra siguin menors que en altres tipus de soldadura. Addicionalment, és un tipus de soldadura que presenta uns baixos costos de material. Així doncs, estem parlant d'una soldadura barata i que en el nostre cas obtindria uns bons resultats ja que s'hi donen les condicions adients.

7. Anàlisi estàtics

Aquest capítol va dirigit a validar el disseny de la cadira de rodes. En conseqüència, es realitzaran una sèrie d'anàlisi estàtics de les peces més sol·licitades per comprovar que aquestes han estat dissenyades correctament. Tot això es farà amb l'eina de Solidworks Simulation.

Inicialment tindrem dues consideracions. Per una banda volem que la cadira de rodes suporti un usuari de, com a màxim, 120 kg. Així doncs aquesta serà la nostra càrrega inicial. Per l'altra, considerarem la gravetat amb un valor de 10 m/s^2 . Això ens ajudarà a calcular els pesos de les peces de la cadira de rodes.

7.1. Seient

La primera peça que sotmetrem a estudi serà el seient, ja que aquesta, justament amb el respall, és la primera que contactarà amb l'usuari. Tal i com s'ha especificat en el capítol 5, el seient estarà en una posició de 3° d'inclinació respecte al terra. És per això que la càrrega que suposa l'usuari s'haurà de descompondre, ja que una part l'haurà de suportar el respall i no pas el seient. En la següent equació es busca la component perpendicular a la superfície del seient del pes de l'usuari.

$$P_S = m_u \cdot g \cdot \cos(3^\circ) \quad (\text{Eq. 7.1})$$

On:

- P_S = Pes que suportarà el seient (N)
- m_u = massa de l'usuari (kg)
- g = gravetat (m/s^2)

Tenint en compte les consideracions inicials pel que fa a la massa de l'usuari i al valor de la gravetat, això ens dona un resultat de 1198.36 N. Aquesta serà la carrega a la que sotmetrem el seient de la cadira de rodes i tindrà una direcció perpendicular a la superfície del seient.

Pel que fa a les restriccions, s'han fixat tots els forats del seient destinats a que hi passin els cargols que uniran el seient amb el xassís mòbil.

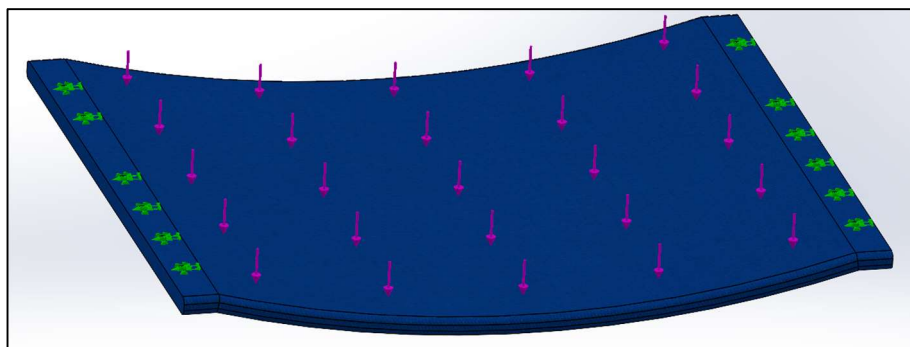


Figura 7.1 Condicions de contorn del seient (Font: Pròpia)

Un cop executat l'estudi podem observar els següents resultats:

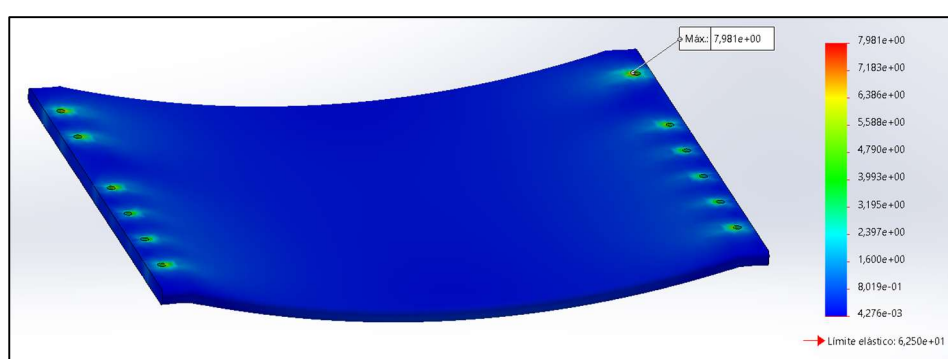


Figura 7.2 Tensions de Von Mises (MPa) al seient (Font: Pròpia)

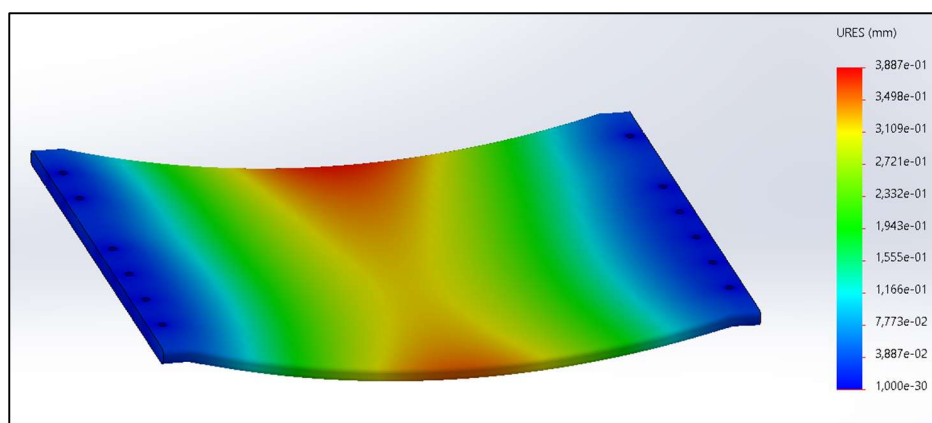


Figura 7.3 Desplaçaments (mm) al seient (Font: Pròpia)

Tal i com podem observar, la màxima tensió que experimentarà el seient serà de 7.981 MPa i aquesta es produirà a l'aresta superior del forat posterior esquerre. Per altra banda, sabem que el límit elàstic del material utilitzat és de 62.5 MPa.

Pel que fa als desplaçaments que es donen a la peça aquests es produiran en el seu màxim exponent als extrems de la part central del seient i seran d'un valor de 0.3887 mm.

7.2. Respatller

La següent part a analitzar serà el respatller. De la mateixa manera que passava amb el seient, el fet que el respatller respecti la perpendicularitat amb el seient provocarà que estigui amb una certa inclinació respecte la vertical. Així doncs es calcularà la component perpendicular a la superfície del respatller per saber la càrrega que haurà de suportar.

$$P_R = m_u \cdot g \cdot \sin (3^\circ) \quad (\text{Eq. 7.2})$$

On:

- P_R = Pes que suportarà el respatller (N)
- m_u = massa de l'usuari (kg)
- g = gravetat (m/s^2)

El resultat de l'equació anterior ens dona una càrrega de 62.8 N. Seguidament s'imposaran les condicions de contorn. Per a aquesta peça s'assumirà la càrrega perpendicular a la superfície i es fixaran els forats que permeten el pas dels cargols que l'uneixen al xassís fix.

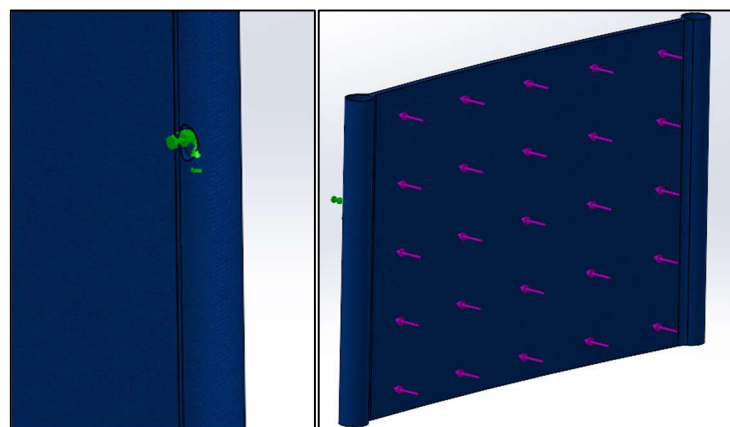


Figura 7.4 Condicions de contorn al respatller (Font: Pròpia)

Un cop executat l'estudi podem observar els següents resultats:

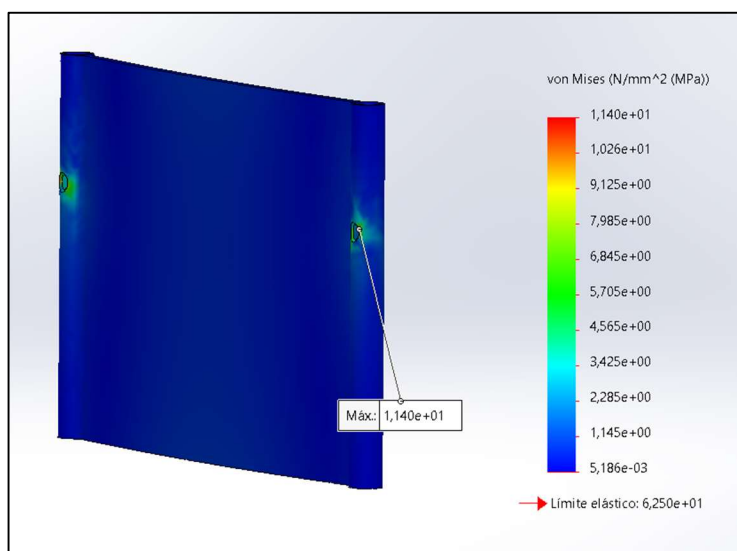


Figura 7.5 Tensions de Von Mises (MPa) al respatller (Font: Pròpia)

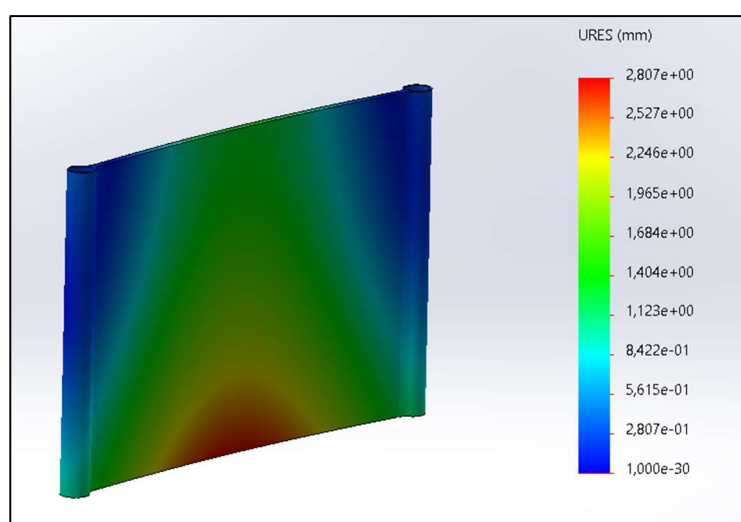


Figura 7.6 Desplaçaments (mm) al respatller (Font: Pròpia)

Dels resultats obtinguts podem veure com la tensió màxima que haurà de suportar el respatller serà de 11.4 MPa mentre que el límit elàstic del material escollit és de 62.5 MPa. Aquestes tensions màximes es produiran als forats per als cargols que uneixen el respatller amb el xassís fix.

Pel que fa als desplaçaments que es produiran al respatller el màxim serà de 2.807 mm i estarà situat a la part central inferior.

7.3. Xassís mòbil

La següent peça a analitzar serà el xassís mòbil. En el següent estudi només s'analitzarà una de les dues parts del xassís, ja que s'ha de tenir en compte que al ésser una estructura simètrica l'altre part estarà subjecta a les mateixes restriccions, sota les mateixes càrregues i reaccionarà de la mateixa manera.

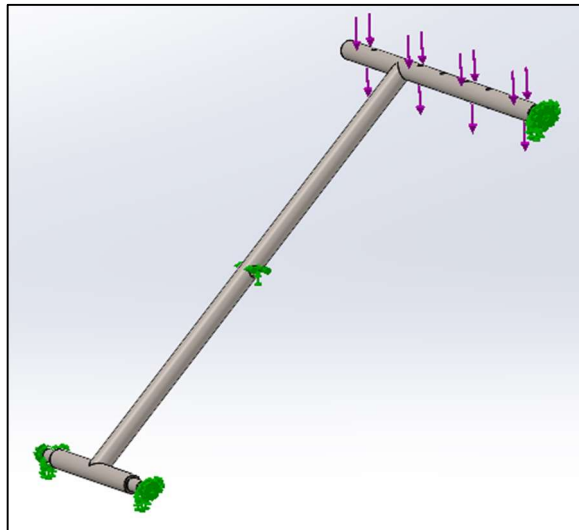


Figura 7.7 Condicions de contorn al xassís mòbil (Font: Pròpia)

Pel que fa a les càrregues que haurà de suportar el xassís mòbil, es tindrà en compte que el seient està completament desplegat i sota el pes de l'usuari. Aquesta força s'haurà de dividir entre dos, ja que cada part del xassís mòbil suportarà la meitat de la càrrega. Considerant el pes del seient negligible, la càrrega que haurà de suportar la peça d'estudi serà de 599.18 N. Aquesta força es produirà a la barra superior de la peça i tindrà una direcció paral·lela a l'eix dels forats pels cargols que uneixen el xassís mòbil amb el seient.

Per altra banda restringirem el moviment de les cares de la peça que s'acoblen al xassís fix juntament amb el forat passant per on hi va el cargol que junta les dues peces del xassís mòbil.

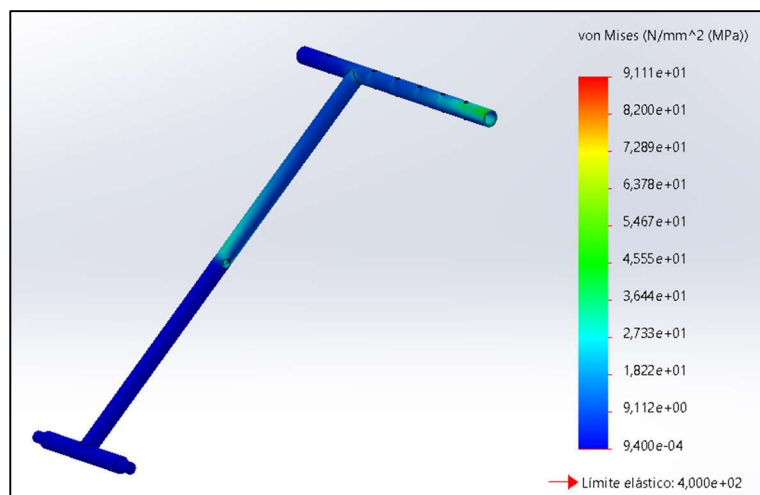


Figura 7.8 Tensions de Von Mises (MPa) al xassís mòbil (Font: Pròpia)

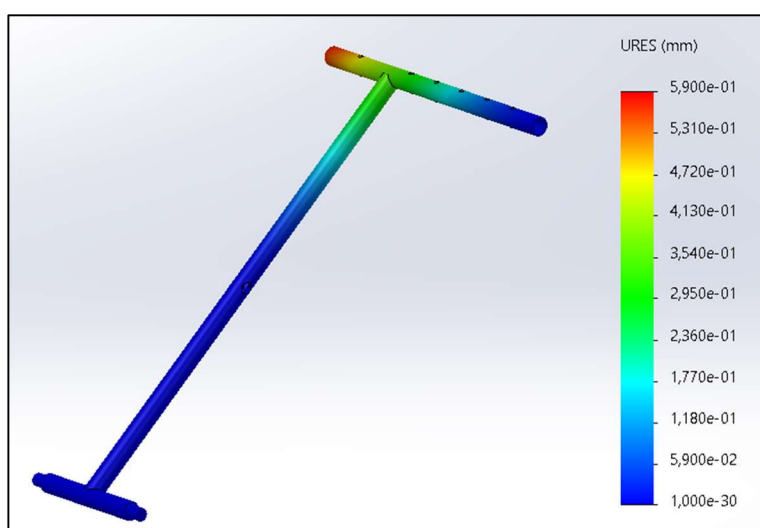


Figura 7.9 Desplaçaments (mm) al xassís mòbil (Font: Pròpia)

Dels resultats obtinguts podem observar que la tensió màxima que es produirà a la peça serà de 91.11 MPa, suficientment per sota dels 400 MPa del límit elàstic del material del que estarà feta. Pel que fa als desplaçaments aquests seran, com a màxim, de 0.59 mm i es produiran a l'extrem on hi aniria acoblada la corredissa que ajuntaria el xassís mòbil amb el xassís fix.

7.4. Xassís fix

El xassís fix serà la part de la cadira de rodes que major nombre de càrregues haurà de suportar. En primer lloc, se li transmetrà el pes de l'usuari. Això equival a els ja coneguts 1198.36 N perpendiculars a la superfície del seient i els 62.8 N perpendiculars a la superfície

del respatllet. També s'ha de tenir en compte el pes del xassís mòbil, que és d'uns 53.114 N. Addicionalment, se li sumarà la càrrega que hauran de suportar els reposabraços i el seu pes. Tot això últim equivaldrà a un valor de 235.34 N. De la mateixa manera que hem fet amb el xassís mòbil, només calcularem les reaccions a la meitat del xassís fix, ja que s'assumeix que l'altre meitat serà idèntica. Per tant, les càrregues especificades anteriorment (excepte la del reposabraços) s'hauran de dividir entre dos.

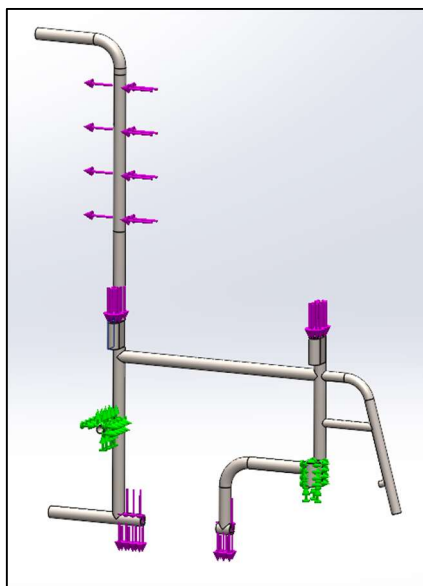


Figura 7.10 Condicions de contorn al xassís fix (Font: Pròpia)

El següent pas és tenir en compte on col·locarem aquestes càrregues. Pel que fa a les provinents del reposabraços aquestes es col·locaran al punt d'unió entre xassís fix i reposabraços. Com que hi ha dos punts de contacte es dividirà la càrrega entre dos. Les càrregues relacionades amb el respatllet es col·locaran perpendicularment a la superfície del respatllet en l'espai de la barra vertical que ocuparia aquest. I per últim, les càrregues que provenen del seient i el pes del xassís mòbil, després d'un càlcul de reaccions, es distribuïran de la següent manera: 629.39 N al punt de contacte superior i 25,49 als punts de contacte inferiors.

Finalment només queda restringir el moviment de les superfícies que uniran les rodes anteriors i posteriors al xassís fix.

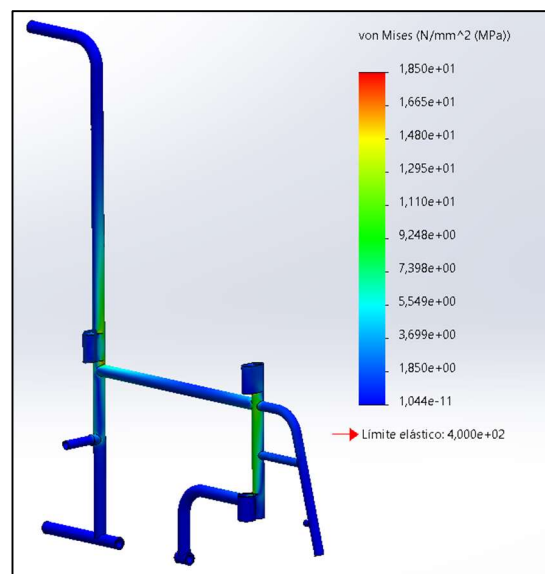


Figura 7.11 Tensions de Von Mises (MPa) al xassís fix (Font: Pròpia)

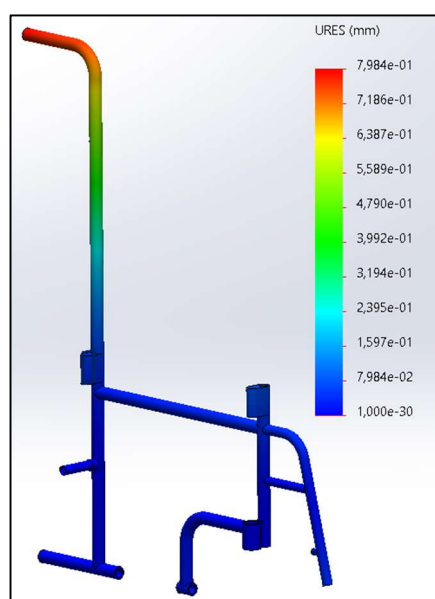


Figura 7.12 Desplaçaments (mm) al xassís fix (Font: Pròpia)

Un cop obtinguts els resultats podem observar com la màxima tensió es produeix on es creuen les barres vertical i horitzontal principals amb un valor 18.50 MPa. Sabem que el límit elàstic del material és de 400 MPa, així doncs podem validar que el xassís fix de la cadira de rodes no patirà tensions perilloses per a poder mantenir l'estructura. Pel que fa als desplaçaments, aquests es produiran bàsicament a la part superior de la peça, i amb el seu valor màxim de 0.7984 mm a la part on hi aniran acoblats els mànecs de la cadira de rodes.

7.5. Llanta anterior

És important conèixer si el disseny de les llantes és adient o no, per això haurem de veure si són capaces de suportar correctament les càrregues sol·licitades. Inicialment s'han sumat tots els pesos que hauran de carregar. Aquest són: el xassís mòbil, el xassís fix, els reposabraços, els reposapeus, els frens, els cercols d'autopropulsió i el propi pes de l'usuari. S'han considerat negligibles els pesos tant del seient com del respatller. Això suposa un total de 1505.804 N. Com que la cadira de rodes es recolza sobre quatre rodes es considerarà que cada roda ha de suportar una quarta part de la càrrega total, el que significa que per a l'estudi la càrrega serà de 376.451 N.

Per altra banda, per poder realitzar el estudi cal que la superfície exterior de la llanta quedi fixa. D'aquesta manera s'estudiarà les reaccions a la llanta considerant que la cadira de rodes està parada. Podem observar els resultats en les següents figures.

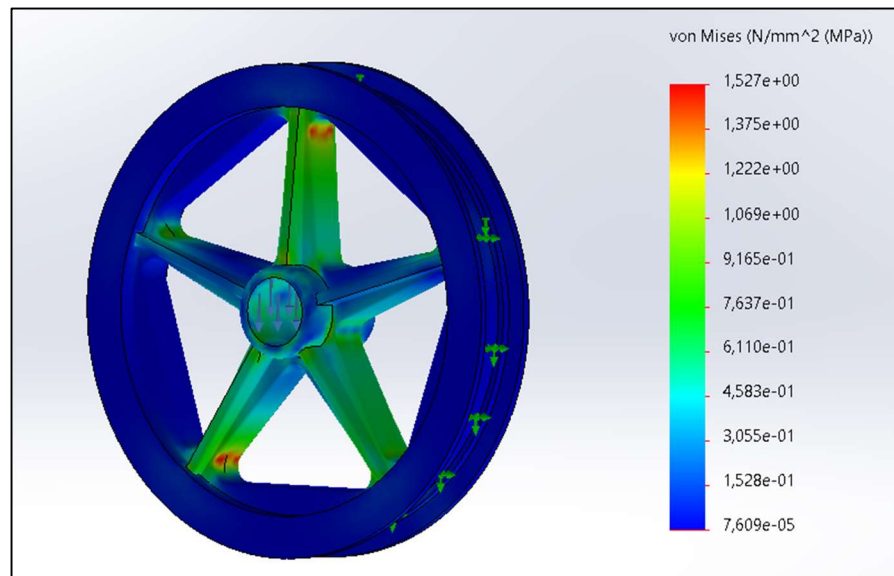


Figura 7.13 Tensions de Von Mises (MPa) a la llanta anterior (Font: Pròpia)

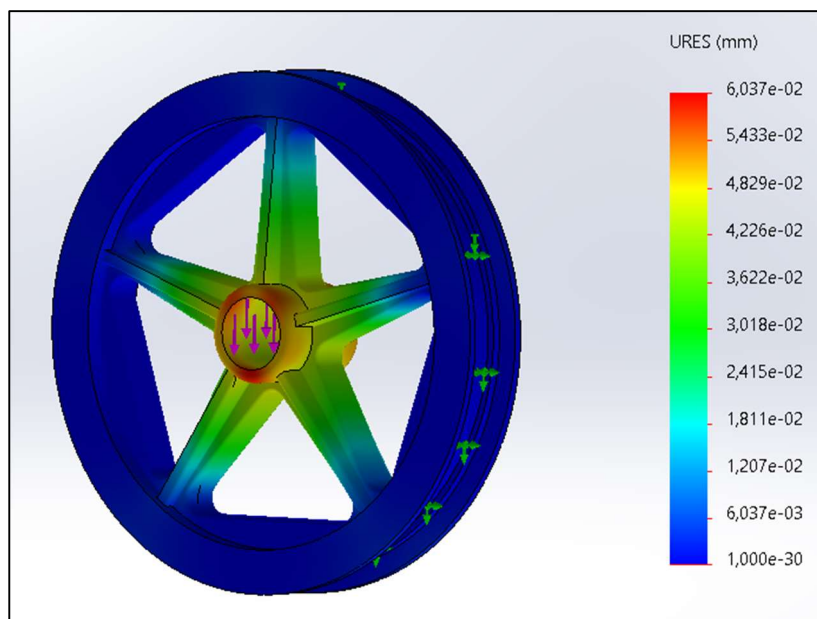


Figura 7.14 Desplaçaments (mm) a la llanta anterior (Font: Pròpia)

Dels resultats obtinguts podem veure que les tensions màximes produiran als extrems exteriors dels nervis de la llanta més propers a l'eix central paral·lel a la direcció de la força aplicada i tindran un valor de 1.527 MPa. Es esperable que es produeixin en aquest punt ja que es tracta de la part més estreta del nervi. Pel que fa als desplaçaments, aquests tindran un valor màxim de 0.06 mm. Per tant podem concloure que amb la mida de 7.8" suportarà perfectament les càrregues sol·licitades.

7.6. Llanta posterior

De la mateixa manera que s'han estudiat els dissenys de les llantes anteriors, es faran amb les posteriors. Les consideracions són les mateixes: el repartiment de les càrregues serà entre les quatre rodes i es fixarà la cara exterior de la llanta. Així doncs, l'estudi es realitzarà amb la simulació d'una càrrega de 376.451 N.

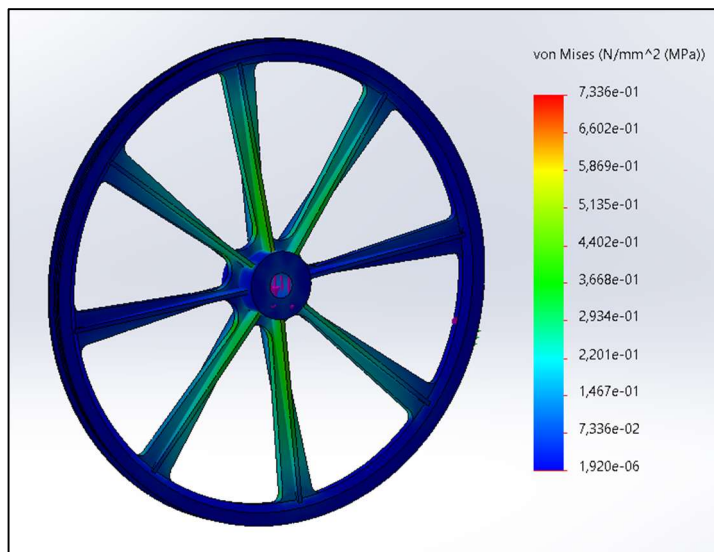


Figura 7.15 Tensions de Von Mises (MPa) a la llanta posterior (Font: Pròpia)

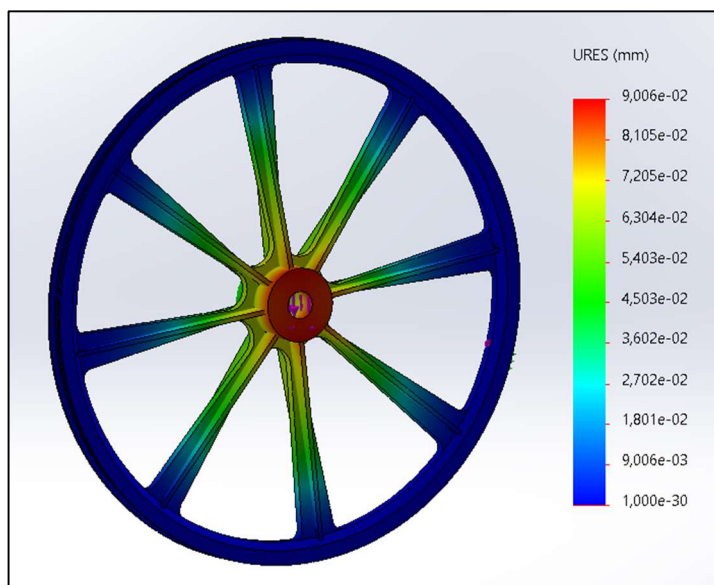


Figura 7.16 Desplaçaments (mm) a la llanta posterior (Font: Pròpia)

Un cop obtinguts els resultats, podem observar com les màximes tensions que es produeixen a les arrels dels nervis de la llanta i aquestes no superen els 0.8 MPa. Aquesta és una xifra molt baixa, però el fet de repartir equitativament el pes de l'usuari més el de la cadira entre les quatre rodes permet que cada llanta hagi de suportar una càrrega molt menor i, per tant patir unes tensions de baix valor. Pel que fa a les deformacions, el valor màxim que ens trobaríem serien 0.009 mm. Pràcticament un valor negligible i que podem assumir a 0. Així doncs, podem validar el disseny de les llantes de 24" ja que el límit elàstic del material està molt per sobre de les tensions màximes que es produeixen a la peça.

7.7. Reposabraços

Una altre de les parts que es pot estudiar son els reposabraços. Aquests, tot i no estar excessivament sol·licitats quan l'usuari està assegut a la cadira, s'ha de tenir en compte que també guarden la funció d'ajudar a aixecar-se i asseure's. Consegüentment, serà en aquestes dues posicions on els reposabraços de la cadira hauran de suportar una major càrrega.

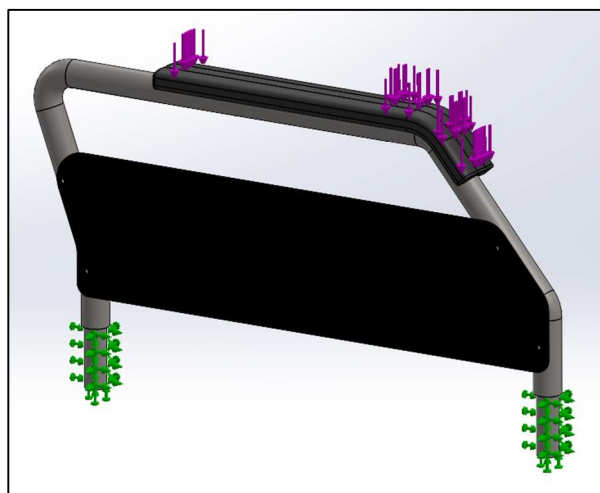


Figura 7.17 Condicions de contorn al reposabraços (Font: Pròpia)

Es considerarà que l'usuari recolzarà, com a màxim un 30% del seu pes corporal. Això significa que la càrrega entre els dos reposabraços serà de 400 N. Com que només sotmetrem a estudi un dels dos reposabraços (ja que les reaccions seran iguals tant en un reposabraços com en l'altre) aquesta càrrega es reduirà a la meitat. El fet de fer un estudi de tot el subasseblatge del reposabraços ens permet tenir en compte els pesos de les peces que el formen i la interacció entre elles. Per altra banda es consideraran fixes les superfícies del reposabraços que s'introdueixen dins el xassís mòbil.

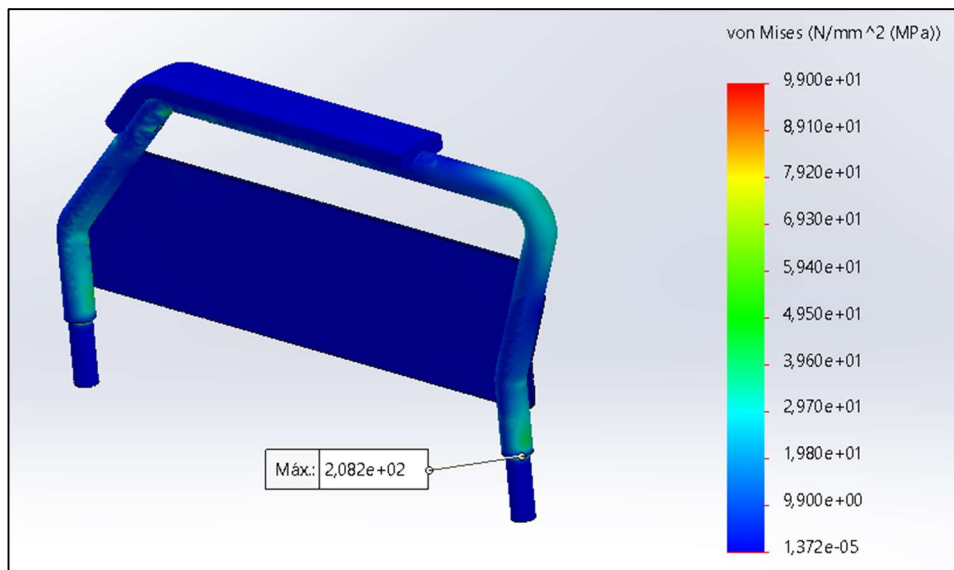


Figura 7.18 Tensions de Von Mises (MPa) al reposabraços (Font: Pròpia)

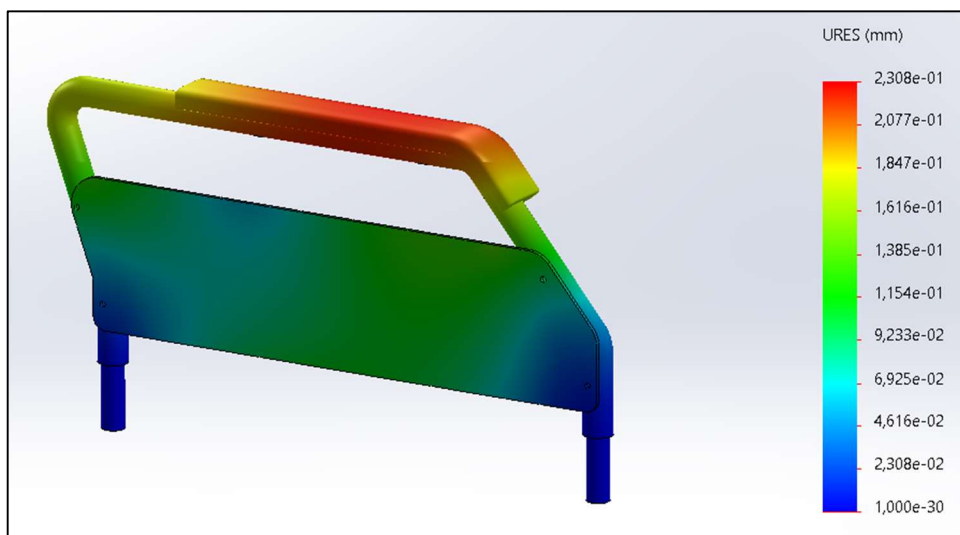


Figura 7.19 Desplaçaments (mm) al reposabraços (Font: Pròpia)

Un cop analitzats els resultats podem observar com la tensió màxima es produirà en un dels arrodoniments de la part del reposabraços que s'introduirà al xassís fix. Aquest, es tracta d'un únic punt amb una tensió molt elevada. Després de refinar la malla podem concloure que és un punt de concentració de tensions possiblement degut a la geometria i, per tant, el podem ignorar. Tot i així no hi ha cap punt que superi el límit elàstic dels materials dels que estan compostos els reposabraços. Pel que fa als desplaçaments, aquests es produiran en la major part en el coixí del reposabraços i tindran un valor màxim de 0.2308 mm.

7.8. Reposapeus

Finalment, s'estudiarà la reacció dels reposapeus quan estiguin en posició de servei. Es considera que el pes de les cames és un 20% del pes total corporal, així doncs cada cama equival al 10% del pes total. Tenint en compte que cada reposapeus subjectarà una sola cama i que l'individu serà de 120 kg, la càrrega que es sol·licitarà al reposapeus serà de 120 N. Aquesta càrrega anirà repartida per tota la superfície del reposapeus i tindrà una direcció perpendicular a aquesta. Pel que fa a les subjeccions, es restringirà el moviment del forat destinat a acoblar el reposapeus amb la resta de l'assemblatge del peu de la cadira de rodes i la cara que contactarà amb el peu per no permetre el gir del reposapeus cap a la direcció contrària.

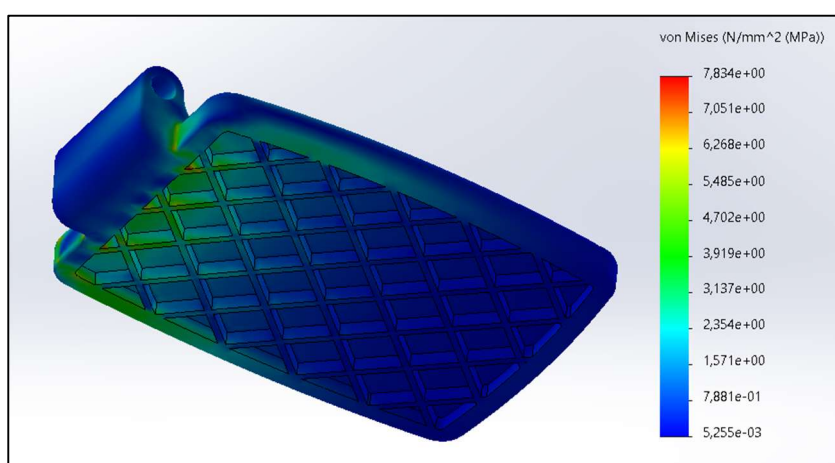


Figura 7.20 Tensions de Von Mises (MPa) al reposapeus (Font: Pròpia)

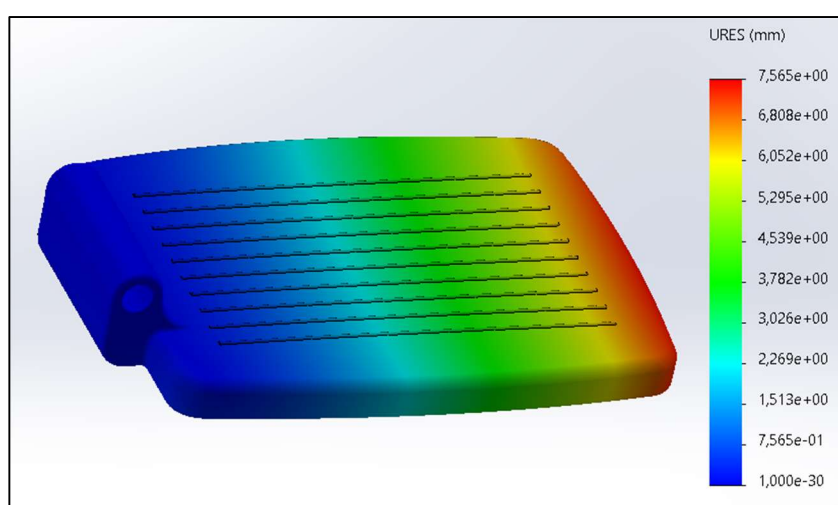


Figura 7.21 Desplaçaments (mm) al reposapeus (Font: Pròpia)

Un cop obtinguts els resultats, es pot observar com la tensió màxima és de 7.834 MPa. Ara bé, aquesta es troba en un únic punt que es tracta d'un concentrador de tensions i, per tant, es pot depreciar. Tot i així aquesta tensió no és superior en cap punt al límit elàstic del material, que és de 27 MPa. Per altra banda, els màxims desplaçaments es produiran a l'extrem més allunyat de la zona restringida. Això és normal, ja que la situació es pot simplificar a un problema de biga en voladís. El valor màxim de desplaçaments serà de 7.565 mm. Es tracta d'un valor prou alt i significatiu, però realment és permisible, doncs estem parlant d'una peça que si pateix cert desplaçament no crea conseqüències pel que fa a la funcionalitat o comoditat de la cadira. És per això que es pot validar el reposapeus dissenyat.

8. Anàlisi de l'impacte ambiental

Aquest darrer capítol es tracta d'una part molt important d'aquest projecte, ja que es vol supervisar que tot el que s'ha dissenyat sigui responsable amb el medi ambient. Primerament es justificarà la sostenibilitat del disseny de la cadira de rodes. S'analitzarà el perquè s'han apostat per les solucions adoptades, mirant sobretot per la reducció de l'impacte ambiental i s'avaluaran les possibles avaries que pugui patir l'objecte i les substitucions que s'haurien de dur a terme. Posteriorment es mirarà la capacitat dels materials escollits d'ésser reciclats i reutilitzats. D'aquesta manera podrem veure si es fan servir en altres àmbits o sectors i si poden tenir una vida circular.

Sostenibilitat del disseny

La primera mesura que s'ha adoptat en vista a la sostenibilitat de la cadira de rodes ha sigut que aquesta sigui manual i no pas elèctrica. La gran avantatge d'una cadira de rodes manual és que no necessita d'energia externa més enllà de la de l'usuari o la de l'acompanyant (en el cas que l'usuari no pugui valer-se per si sol). En canvi, si s'hagués dissenyat una cadira de rodes elèctrica aquesta necessitaria d'electricitat per funcionar i comportaria una instal·lació de components i bateries susceptibles a avaries i de difícil reciclatge en alguns casos.

D'altra banda, i relacionada amb l'anterior, el fet que la cadira de rodes sigui manual implica que és mecànica. I, per tant, és més difícil que cap component de la cadira de rodes s'avarïi, ja que no es treballa amb increments de temperatures ni a altes revolucions ni depens del correcte funcionament de tota una instal·lació elèctrica. Això es tradueix, lògicament, amb menys reparacions i menys substitucions en comparació amb una cadira de rodes motoritzada.

Finalment, el disseny de la cadira de rodes s'ha realitzat a partir de relativament poques peces i gràcies a un muntatge senzill, en cas d'avaría aquesta estaria molt focalitzada i seria fàcil la substitució del component. Per exemple, un dels casos més probables (encara que infreqüent) seria el dany, o fins i tot la ruptura, de la coberta d'una roda. Si ens trobéssim en aquest cas, molt possiblement estaríem parlant de només haver de substituir aquest component i això passaria per únicament desenroscar l'eix de la roda i canviar la coberta. El mateix passaria amb el seient, el respall o el reposapeus. A més, fet les diferents parts estiguin unides mitjançant elements normalitzats fa que el desmuntatge sigui senzill.

Sostenibilitat dels materials

Poliuretà termoplàstic (TPU)

Per començar, cal dir que el poliuretà termoplàstic es tracta d'un polímer i, per tant, necessita de combustibles fòssils per a ésser fabricat per primera vegada. Això no significa que no sigui sostenible, ja que si s'aconsegueix reciclar o reutilitzar aquest material estaríem parlant d'una reducció molt important en quant a ús i consum de derivats del petroli.

Pel que fa a aquest material és possible el seu reciclatge mitjançant diferents mètodes. Això fa que cada cop estiguin més esteses les plantes de reciclatge i tractament de poliuretà termoplàstic. Els principals mètodes de tractament del TPU són:

- Reciclatge mecànic: bàsicament es tracta de separar, netejar i triturar els objectes de poliuretà rebutjats per a elaborar escòria que servirà per a la nova fabricació d'altres objectes.
- Reciclatge químic: aquest procés està en continu desenvolupament perquè permet el reciclatge de gran part dels plàstics. Es tracta de, mitjançant processos químics com la glicòlisi, la hidròlisi, la piròlisi o la hidrogenació, desglossar les desfetes de poliuretà en els seus components químics originals: els poliols. Aquests poliols provinents del TPU reciclat poden arribar a formar part d'un 30% dels poliols del nou producte.

El poliuretà termoplàstic està altament estès en la nostra societat i es fa servir en molts àmbits. És per això que el podem trobar en infinitat d'objectes i aplicacions. Alguns exemples podien ser soles de calçat, plantilles o parts de diferents d'objectes preparades per al seu contacte amb el terra. També s'usa en l'indústria tèxtil i d'automoció en la fabricació, per exemple, de parts de la carrosseria o de l'interior d'un cotxe. És un material molt utilitzat pel que fa als objectes destinats a la protecció com podrien ser fundes, carcasses o cobertes.

Niló 6/6

El niló es considera un plàstic d'enginyeria ja que les seves propietats mecàniques són superiors a les de la majoria de plàstics bàsics. Ara bé aquesta també és un arma de doble fil, ja que el fet de ser un material molt resistent també produeix que no sigui biodegradable i trigui gairebé uns 500 anys a ser absorbit per la natura. És per això que és molt important trobar la manera de reciclar el niló.

El reciclatge d'aquest material és mecànic: es recullen totes les desfetes de niló i mitjançant un procés de fosa i extrusió s'aconsegueix el niló reciclat. És un procés senzill i que requereix de temperatures més baixes que en la majoria de plàstics, per això es gasta menys energia en el seu reciclatge que en la seva producció. A més, el niló reciclat conserva les mateixes propietats que el de primera fabricació. Ara bé, el gran problema recau en els costos econòmics. Actualment és molt més barat produir niló verge que no pas reciclar-lo, però està demostrat que l'impacte ambiental del niló reciclat és molt menor i que en la majoria dels casos surt més a compte pel que fa a la salut del planeta. En resum, l'important és que hi ha mètodes senzills per al reciclatge del niló però necessiten d'investigació i desenvolupament per a fer-los més barats.

El niló és un dels materials més usats en la indústria tèxtil. De fet en aquest projecte s'utilitzarà únicament en les dues parts tèxtils de la cadira de rodes: el seient i el respall. És per això que el niló el podem trobar bàsicament en forma de fibres en diferents peces de roba o teixits amb propietats especials. Aquest material també s'utilitza en les xarxes de pesca. I quan aquestes queden velles o es trenquen, les desfetes de niló són molt grans en quantitat. Finalment, en molts casos acaben abocades al mar. Per això és molt important el reciclatge del niló i, de fet, la major part del niló reciclat prové de les xarxes de pesca.

Polietilè d'alta densitat (HDPE)

De la mateixa manera que passa amb el poliuretà termoplàstic, el polietilè d'alta densitat es tracta d'un polímer derivat del petroli. Tot i així no significa que no pugui ser reciclat i, de fet, és un dels plàstics més fàcils de reciclar i major estesos mundialment.

El procés de reciclatge del polietilè d'alta densitat és dels més senzills que podem trobar. El HDPE es té la segona millor taxa de recuperació. Primerament es recull i s'ordena tot el HDPE i es neteja per separar les impureses. Un cop tenim el polietilè d'alta densitat llest per ser reciclat es segueix un procés de triturat, fosa i extrusió que dona lloc a l'escòria que servirà per a la fabricació de nous objectes de polietilè d'alta densitat. La gran avantatge d'aquest procés és que resulta molt barat i fàcil de realitzar, fins i tot té un cost econòmic més baix que la fabricació de HDPE verge. Tot i això actualment per a la fabricació de nous components de polietilè d'alta densitat encara és necessària la barreja entre material verge i material reciclat.

El polietilè d'alta densitat es tracta d'un dels plàstics més usats a tot el món, amb un mercat que supera les 30 milions de tones anuals. Per això seria molt fàcil trobar objectes rebutjats

fets d'aquest material i susceptibles a ésser reciclats. Els més coneguts són els envasos de plàstic amb els que estem tant familiaritzats com ampolles, garrafes i recipients varis. Però també el podem trobar en infinitat d'objectes com joguines, elements de protecció, canonades...

Acer inoxidable 1.4301

Els metalls com l'acer inoxidable són materials que tenen una vida útil molt elevada. Això significa que estan preparats per estar en servei durant llargs períodes de temps, el que els fa uns materials certament sostenibles ja que redueixen la producció degut a substitucions per desgast.

A més, els acers inoxidables tenen la propietat de ser reciclables al 100%, és a dir, que l'acer inoxidable reciclat obté les mateixes propietats que l'acer inoxidable verge. Això permet que tinguin una vida pràcticament infinita. El reciclatge de l'acer en produeix en centres de recollida de ferralla, on es fon el material i es purifica per obtenir de nou altres peces d'acer inoxidable. Es tracta d'un procés barat i de fàcil realització. De fet, es segueix produint acer inoxidable verge pel sol fet que no hi ha prou ferralla per reciclar ja que, com s'ha dit abans, la vida útil dels objectes fabricats amb aquest material sol ser elevada.

Precisament, l'acer inoxidable 1.4301 és un dels més utilitzats. El podem trobar en canonades, en l'indústria alimentària, en mobiliari urbà o en el sector de la construcció, per exemple.

Alumini 2011 T6

Aquest es tracta també d'un metall amb una vida útil elevada ja que no es corrou i, per tant, necessita de poc manteniment. De la mateixa manera que l'acer, si ens assegurem que els objectes fets d'alumini no els haurem de substituir al cap de poc temps degut al desgast, en produïrem menys. Ara bé, tot i que l'alumini és dels materials més abundants al planeta el seu procés d'extracció i producció requereix de molta energia i de temperatures superiors als 1000°C. Apart que entren en joc diferents processos, ja que l'alumini no el trobem directament a la Terra, sinó que s'extreu d'un mineral anomenat bauxita. El procés d'obtenció de l'alumini és costós, en canvi quan reciclem l'alumini necessitem temperatures al voltant dels 660°C i una diferència notable de despesa d'energia elèctrica. Addicionalment, l'alumini reciclat igual que l'acer, mantindrà les mateixes propietats que el seu homòleg verge. Tot això fa que sigui molt interessant el reciclatge d'alumini.

El procés de reciclatge de l'alumini és semblant al de l'acer. Inicialment segueix un procés de recollida i separació per després ser triturat i refós per finalment solidificar-lo i així obtenir de nou alumini llest per tornar a ser treballat. És un procés que resulta més barat que la pròpia extracció de l'alumini, el reciclatge de l'alumini s'està convertint cada cop més popular ja que com s'ha comentat abans, apart dels beneficis econòmics se'n obtenen d'ecològics.

Conclusions

En primer lloc, considerem molt important l'aprenentatge adquirit durant la realització del projecte i el desenvolupament del disseny de la cadira de rodes. Ja no només aspectes tècnics i coneixements sobre la matèria com podrien ser la selecció dels materials o la validació del disseny, sinó també metodologies i ètiques de treball. Al cap i a la fi han sigut moltes hores dedicades a un mateix projecte que finalment han donat el seu fruit.

Pel que fa a la consecució del treball, es pot afirmar que s'ha aconseguit dissenyar una cadira de rodes manual d'autopropulsió perfectament funcional. A més, compleix amb les mesures estàndards i, per tant, es pot considerar una cadira de rodes normalitzada. Addicionalment la tria dels materials dels quals estarà feta la cadira de rodes han seguit una línia en la qual se'ls imposava que fossin reciclables al 100% i, tot i que per reduir costos econòmics s'ha hagut d'apostar per materials plàstics, aquest objectiu s'ha assolit en part. Cal tenir en compte que no sempre la possibilitat de reciclar significa que sigui el mètode més estès actualment. S'han trobat materials el reciclatge dels quals, tot i ésser possible, també és car i encara avui en dia s'aposta majoritàriament per a la producció de nou material.

En relació a l'aspecte econòmic, inicialment s'ha arribat a un preu de 20945,38 €. Aquest és un preu massa elevat per a una cadira de rodes de les característiques que es buscaven. Ara bé, la major part d'aquest preu provenia de les hores de dedicació al disseny de la cadira i a l'obtenció del programari de CAD. Aquests costos només es produeixen en la primera unitat, ja que les altres serien exactament iguals i per tant no faria falta una feina de disseny darrere de cada cadira de rodes. Si es comptés amb una producció en sèrie en la que la venda d'unitats fos suficientment gran com perquè aquest cost d'enginyeria tendís a zero, el preu de cada cadira estaria al voltant dels 180 €. Aquest, certament, és un preu que entra dins del mercat.

I finalment, s'acabarà amb un seguit de recomanacions per a línies futures de treball. En primer lloc seria interessant descobrir els processos de fabricació de cada peça de la cadira de rodes, per així ajustar millor el pressupost final. També es podrien conèixer les màquines emprades i intentar reduir la despesa energètica durant la producció de la cadira. D'aquesta manera, creiem que també es marcaria la diferència. Un altre camí que es podria agafar seria el del disseny d'una cadira de rodes amb un impacte ambiental pràcticament nul a partir de materials 100% naturals i sense tenir en compte el cost econòmic que podria comportar.

Bibliografia

- [1] Croney, J. (1978). *Antropometría para diseñadores*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- [2] Dreyfuss, H. (2012). *Designing for People*. New York: Allworth Press.
- [3] McCormick, E. J. (1980). *Ergonomía*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- [4] Mondelo, P.; Torada, E.; González, Ó.; Fernández, M. (2018). *Ergonomía del trabajo en oficinas*. Barcelona: Edicions UPC. Disponible en línea a:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36777/9788476539828.pdf>
- [5] Panero, J.; Zelnik, M. (2007). *Las dimensiones humanas en los espacios interiores*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- [6] Schaeffler (2018). *Technical pocket guide*. Herzogenaurach: Schaeffler Technologies
- [7] Romero Chacón, J. (2015). TFG: *Diseño de una silla de ruedas con superación de obstáculos*. EUETIB UPC.
- [8] Benet Carbonés, E. (2015). TFG: *Disseny d'una cadira de rodes mitjançant sistema Hubless*. EPS UdG.
- [9] Rodríguez Benito, R. (2022). TFG: *Diseño de un patinete eléctrico teniendo en cuenta la Agenda 2030*. EEBE UPC.
- [10] Gómez González, S. (2022). *Apunts de classe: Validació del Disseny*. EEBE UPC.
- [11] Manero Planella, J. M.; Llumà Fuentes, J. (2020). *Apunts de classe: Ciència i enginyeria de materials*. EEBE UPC.
- [12] Ashby, M.F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. Oxford: Elsevier.
- [13] Ashby, M.F.; Jones, David R. H. (2009) *Materiales para ingeniería vol.1*. Barcelona: Editorial Reverté.

[14] Ashby, M.F.; Jones, David R. H. (2009) *Materiales para ingeniería vol.2*. Barcelona: Editorial Reverté.

Webs consultades:

[1] Sunrise Medical. (2022). *La historia de la silla de ruedas: Evolución hasta nuestros días*.

Disponible a:

<https://www.sunrisemedical.es/blog/historia-silla-de-ruedas>

[2] Karma Mobility. (2020). *Historia de la silla de ruedas*. Disponible a:

<https://www.karmamobility.es/2020/04/historia-de-la-silla-de-ruedas/>

[3] Mental Floss. (2022). *Who invented the wheelchair?* Disponible a:

<https://web.archive.org/web/20131105212344/http://blogs.static.mentalfloss.com/blogs/archives/22329.html?cnn=yes>

[4] Minusvalias Físicas. (2022). *Historia de la silla de ruedas*. Disponible a:

<https://sites.google.com/site/minusvaliasfisicas/historia-de-la-silla-de-ruedas>

[5] TotalCare Europe. (2017). *Historia de la silla de ruedas*. Disponible a:

<https://totalcare-europe.com/es/blog/post/historia-de-la-silla-de-ruedas>

[6] Obbocare. (2022). *7 modelos y tipos de sillas de ruedas que existen en el mercado*.

Disponible a:

<https://www.obbocare.com/tipos-de-sillas-de-ruedas-y-modelos/>

[7] Dortomedical. (2022). *Tipos de sillas de ruedas y características*. Disponible a:

<https://dortomedical.com/blog/post/tipos-de-sillas-de-ruedas-y-caracteristicas.html>

[8] Ortoprono. (2021). *Guía de los diferentes tipos de sillas de ruedas*. Disponible a:

<https://ortoprono.es/blog/movilidad-y-transporte/tipos-de-sillas-de-rueda/>

[9] Ortopedia Para Ti. (2022). *Tipos de sillas de ruedas*. Disponible a:

<https://ortopediaparati.com/tipos-sillas-de-ruedas/>

[10] OCU. (2020). *¿Cómo elegir una silla de ruedas?* Disponible a:

<https://www.ocu.org/salud/bienestar-prevencion/consejos/como-elegir-silla-de-ruedas>

- [11] Ortopedia Mimas. (2019). *Partes de una silla de ruedas*. Disponible a:
<https://www.ortopediamimas.com/blog-de-ortopedia/partes-de-una-silla-de-ruedas/>
- [12] Fundación Lescer. (2022). *Sillas de ruedas*. Disponible a:
http://www.info-dca.com/ficha_show/691
- [13] Monografías. (2012). *Proyecto de investigación de una silla de ruedas*. Disponible a:
<https://www.monografias.com/trabajos94/proyecto-silla-ruedas/proyecto-silla-ruedas>
- [14] Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. (2022). *Objetivos de Desarrollo Sostenible / ODS*. Disponible a:
<https://www.mdsocialesa2030.gob.es/agenda2030/index.htm>
- [15] Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030. (2022). *Conoce la agenda*. Disponible a:
https://www.mdsocialesa2030.gob.es/agenda2030/conoce_la_agenda.htm
- [16] Instituto Nacional de Estadística. (2022). *Indicadores de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Disponible a:
<https://www.ine.es/dyngs/ODS/es/objetivo.htm?id=4910>
- [17] Naciones Unidas. (2022). *Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades*. Disponible a:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/>
- [18] ISO. (2022). *About us*. Disponible a:
<https://www.iso.org/about-us.html>
- [19] AENOR. (2022). *Pàgina principal d'AENOR*. Disponible a:
<https://www.aenor.com/>
- [20] WellWo. (2021). *Guía sobre el plástico: uso, toxicidad y reciclaje*. Disponible a:
<https://wellwo.es/tipos-de-plastico/>
- [21] Polímeros Técnicos. (2022). *Datos técnicos*. Disponible a:
<https://polimerostecnicos.net/datos-tecnicos/>

[22] Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido. (2022). *El mito de la sostenibilidad de los materiales aislantes*. Disponible a:

<https://aislaconpoliuretano.com/sobre-sostenibilidad-el-falso-mito-acerca-del-poliuretano/>

[23] Construnario. (2019). *¿Cómo se recicla el poliuretano, dónde y con qué fines?*

Disponible a:

<https://www.construnario.com/notiweb/51048/como-se-recicla-el-poliuretano-donde-y-con-que-fines>

[24] Tecnología de los Plásticos. (2011). *Poliuretano*. Disponible a:

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/poliuretano.html>

[25] Tecnología de los Plásticos. (2011). *Polipropileno*. Disponible a:

<https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/polipropileno.html>

[26] Servei Estació. (2022). *¿Qué es el nailon o nylon? Usos y formatos*. Disponible a:

<https://serveiestacio.com/blog/que-es-el-nailon-o-nylon/>

[27] Acerinox. (2022). *Catàleg d'acers inoxidable*. Disponible a:

<https://www.acerinox.com/es/productos/tipos-de-acero-00001/>

[28] Area Tecnología. (2022). *Acero inoxidable*. Disponible a:

https://www.areatecnologia.com/materiales/acero-inoxidable.html#Aceros_Aleados

[29] MatWeb. (2022). *Aluminium 2011-T6 Properties*. Disponible a:

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=66a81429bea54053bbdc39f6ce0f2407&ckck=1>

[30] Gasparini. (2016). *Aluminio y sus aleaciones*. Disponible a:

<https://www.gasparini.com/es/blog/aluminio-y-sus-aleaciones/>

[31] MatWeb. (2022). *Natural Homopolymer Polypropylene Properties*. Disponible a:

<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=d936b5dd8d514f64a984e68b645532c6>

[32] Universitat de Barcelona. (2022). *Propietats del poliuretà*. Disponible a:

<http://www.ub.edu/cmematerials/ca/content/poliuret%C3%A0>

- [33] MatWeb. (2022). *Nylon 66/6 Properties*. Disponible a:
https://www.matweb.com/search/datasheet_print.aspx?matguid=26386631ec1b49eeba62c80a49730dc4
- [34] Ortopedia Guzmán. *Tipos de componentes de una silla de ruedas*. [format arxiu PDF en línia]. Disponible a:
<https://www.ortopediaguzman.com/media/wysiwyg/pdf/Tipos%20de%20componentes%20de%20una%20silla%20de%20ruedas.pdf>
- [35] Bonnet Suministros y Maquinaria S.L. (2022). *Clasificación de los aceros inoxidables*. [format arxiu PDF en línia]. Disponible a:
<https://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf>
- [36] Alu-Stock. (2022). *El aluminio*. Disponible a:
<https://www.alu-stock.es/multimedia/descargas/13/Cap10-el-aluminio.pdf>
- [37] Fronius. (2022). *Soldadura MIG/MAG: El proceso de soldadura de alta velocidad*. Disponible a:
<https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/el-mundo-de-la-soldadura/soldadura-mig-mag>
- [38] Fronius. (2022). *Soldadura TIG: Cordones limpios, uniones estables*. Disponible a:
<https://www.fronius.com/es-es/spain/tecnologia-de-soldadura/el-mundo-de-la-soldadura/soldadura-tig>
- [39] Lorch. (2022). *Soldadura MIG – MAG*. Disponible a:
<https://www.lorch.eu/es/productos/soldadura-manual/soldadura-mig-mag>
- [40] García-Berro, Myriam (1999). *Reciclado de piezas de poliuretano procedentes de la industria del automóvil*. Disponible a:
<https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/6260-Reciclado-de-piezas-de-poliuretano-procedentes-de-la-industria-del-automovil.html>
- [41] Poveda Textil (2022). *Nylon reciclado*. Disponible a:
<https://povedatextil.com/nylon-reciclado/>

[42] MatWeb (2022). High Density Polyethylene properties. Disponible a:
<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=fce23f90005d4fbe8e12a1bce53ebdc8&ckck=1>

[43] Ecoembes (2021). *¿Qué es y cómo podemos reciclar el HDPE Polietileno?* Disponible a:
<https://ecoembesdudasreciclaje.es/que-es-y-como-podemos-reciclar-el-hdpe-polietileno/>

[44] Ferros Planes (2021). *Reciclado del acero*. Disponible a:
<https://ferrosplanes.com/reciclado-de-acero/>

[45] Husband, Tom (2012). *Reciclaje de Aluminio*. Disponible a:
<https://www.acs.org/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2011-2012/reciclaje-aluminio.html>

Índex de figures

Figura 3.1 Cadira de rodes del rei Felip II (Font: Diario Marca)	5
Figura 3.2 Cadira de rodes autopropulsada d'Stephan Farfler (Font: Sunrise Medical).....	6
Figura 3.3 Cadira de rodes Bath (Font: Karma Mobility)	6
Figura 3.4 Cadira de rodes de Everest & Jennings (Font: Sunrise Medical)	7
Figura 3.5 Cadira de rodes manual d'autopropulsió (Font: Vermeiren Ibérica S.L.).....	8
Figura 3.6 Cadira de rodes manual de no autopropulsió (Font: GERATEC)	9
Figura 3.7 Cadira de rodes elèctrica (Font: Sunrise Medical)	9
Figura 3.8 Cadira de rodes de bipedestació (Font: Sunrise Medical)	10
Figura 3.9 Cadira de rodes bariàtrica d'autopropulsió (Font: Ortojosbel)	10
Figura 3.10 Cadira de rodes esportiva (Font: Dismovil).....	11
Figura 3.11 Xassís d'una cadira de rodes plegable (Font: Garotécnica)	12
Figura 3.12 Xassís d'una cadira de rodes no plegable (Font: Garotécnica).....	13
Figura 3.13 Roda davantera massissa (Font: Alibaba)	14
Figura 3.14 Rodes davanteres pneumàtiques (Font: Amazon)	14
Figura 3.15 Comparació de la inclinació de les rodes posteriors (Font: Bolívar Moreno, L.H. Proyecto de investigación de una silla de ruedas).....	15
Figura 3.16 Llanta de plàstic (Font: XinChen).....	16
Figura 3.17 Llanta d'alumini de radis entrecreuat (Font: Ortoiberia).....	16
Figura 3.18 Llanta de fibra de carboni (Font: Sinsion Wheel Line).....	16
Figura 3.19 Cèrcol d'autopropulsió (Font: Ortopedia.com)	17
Figura 3.20 Cèrcol d'autopropulsió amb projeccions (Font: Sunrise Medical)	17
Figura 3.21 Fre de sabata (Font: Impomedical).....	18
Figura 3.22 Braç d'una cadira de rodes amb protecció lateral (Font: Alquileres Ortopédicos)	18
Figura 3.23 Reposapeus desmuntable (Font: Prim Ortopedia).....	19
Figura 3.24 Reposapeus fixe (Font: Ortopedia Cercana)	19
Figura 3.25 Seient flexible (Font: OrtoPlanet).....	20
Figura 3.26 Seient rígid (Font: Ortopedia Online).....	20
Figura 3.27 Respatller flexible (Font: Ortopedia en línea)	21
Figura 3.28 Respatller rígid lumbar (Font: Ortopedia Online)	21
Figura 4.1 Cadira de rodes dissenyada (Font: Pròpia)	26
Figura 4.2 Comparació entre xassís estès i xassís plegat (Font: Pròpia).....	27
Figura 4.3 Part rígida del xassís de la cadira de rodes dret (Font: Pròpia)	28

Figura 4.4 Les tres peces que formen el xassís mòbil (Font: Pròpia)	29
Figura 4.5 Creuament en X del xassís mòbil i ajustaments entre peces del xassís (Font: Pròpia)	29
Figura 4.6 Roda posterior (Font: Pròpia)	30
Figura 4.7 Llanta de les rodes posteriors (Font: Pròpia).....	31
Figura 4.8 Encaix entre llanta i roda (Font: Pròpia)	31
Figura 4.9 Acoblament de la roda posterior al xassís (Font: Pròpia).....	32
Figura 4.10 Cèrcol d'autopropulsió (Font: Pròpia)	33
Figura 4.11 Unió entre cercol d'autopropulsió i llanta de la roda posterior (Font: Pròpia)	33
Figura 4.12 Roda davantera amb complement pel pivotatge (Font: Pròpia)	34
Figura 4.13 Llanta de la roda davantera (Font: Pròpia).....	35
Figura 4.14 Recobriment de la llanta de la roda davantera (Font: Pròpia).....	35
Figura 4.15 Vista de secció del primer eix de la roda davantera (Font: Pròpia)	36
Figura 4.16 Vista de secció del segon eix de la roda davantera (Font: Pròpia).....	37
Figura 4.17 Estructura principal del braç dret (Font: Pròpia).....	38
Figura 4.18 Coixí reposabraços (Font: Pròpia).....	39
Figura 4.19 Guarda-roba acoblada a l'estructura del braç (Font: Pròpia)	39
Figura 4.20 Reposapeus en posició de servei (Font: Pròpia).....	40
Figura 4.21 Reposapeus en posició de plegament (Font: Pròpia).....	41
Figura 4.22 Mètode de subjecció i regulació del reposapeus (Font: Pròpia).....	41
Figura 4.23 Seient de la cadira de rodes en posició de servei (Font: Pròpia)	42
Figura 4.24 Fixació del seient amb el xassís (Font: Pròpia)	43
Figura 4.25 Respatller de la cadira de rodes (Font: Pròpia)	44
Figura 4.26 Fixació del respatller amb el xassís de la cadira de rodes (Font: Pròpia).....	45
Figura 4.27 Fre en posició de repòs (Font: Pròpia).....	45
Figura 4.28 Fre en posició de servei (Font: Pròpia)	46
Figura 4.29 Estructura completa del fre dret (Font: Pròpia)	46
Figura 5.1 Tensió de fluència σ_F respecte la densitat ρ (Font: Materials Selection in Mechanical Design)	49
Figura 5.2 Tensió de fluència σ_F respecte el cost relatiu per unitat de volum $C_{V,R}$ (Font: Materials Selection in Mechanical Design)	51
Figura 5.3 Coeficient de fricció μ per a diferents materials sobre una superfície seca d'acer (Font: Materials Selection in Mechanical Design)	52

Figura 5.4 Tensió de fluència σ_F respecte l'energia incorporada per unitat de volum $H_p \rho$ (Font: Materials Selection in Mechanical Design).....	54
Figura 6.1 Elements normalitzats utilitzats (Font: Pròpia).....	57
Figura 6.2 Soldadura MIG (Font: Lorch)	58
Figura 7.1 Condicions de contorn del seient (Font: Pròpia)	60
Figura 7.2 Tensions de Von Mises (MPa) al seient (Font: Pròpia)	60
Figura 7.3 Desplaçaments (mm) al seient (Font: Pròpia).....	60
Figura 7.4 Condicions de contorn al respatllet (Font: Pròpia)	61
Figura 7.5 Tensions de Von Mises (MPa) al respatllet (Font: Pròpia).....	62
Figura 7.6 Desplaçaments (mm) al respatllet (Font: Pròpia)	62
Figura 7.7 Condicions de contorn al xassís mòbil (Font: Pròpia)	63
Figura 7.8 Tensions de Von Mises (MPa) al xassís mòbil (Font: Pròpia).....	64
Figura 7.9 Desplaçaments (mm) al xassís mòbil (Font: Pròpia)	64
Figura 7.10 Condicions de contorn al xassís fix (Font: Pròpia)	65
Figura 7.11 Tensions de Von Mises (MPa) al xassís fix (Font: Pròpia)	66
Figura 7.12 Desplaçaments (mm) al xassís fix (Font: Pròpia)	66
Figura 7.13 Tensions de Von Mises (MPa) a la llanta anterior (Font: Pròpia).....	67
Figura 7.14 Desplaçaments (mm) a la llanta anterior (Font: Pròpia)	68
Figura 7.15 Tensions de Von Mises (MPa) a la llanta posterior (Font: Pròpia)	69
Figura 7.16 Desplaçaments (mm) a la llanta posterior (Font: Pròpia).....	69
Figura 7.17 Condicions de contorn al reposabraços (Font: Pròpia)	70
Figura 7.18 Tensions de Von Mises (MPa) al reposabraços (Font: Pròpia)	71
Figura 7.19 Desplaçaments (mm) al reposabraços (Font: Pròpia)	71
Figura 7.20 Tensions de Von Mises (MPa) al reposapeus (Font: Pròpia)	72
Figura 7.21 Desplaçaments (mm) al reposapeus (Font: Pròpia)	72

Índex de taules

Taula 5.1 Materials seleccionats per al disseny de la cadira de rodes (Font: Pròpia).....	55
Taula 6.1 Elements normalitzats utilitzats i ús donat (Font: Pròpia).....	56

Índex d'equacions

Eq. 4.1	32
Eq. 5.1	48
Eq. 5.2	48
Eq. 5.3	48
Eq. 5.4	48
Eq. 5.5	48
Eq. 5.6	50
Eq. 5.7	50
Eq. 5.8	50
Eq. 5.9	50
Eq. 5.10	52
Eq. 5.11	53
Eq. 7.1	59
Eq. 7.2	61

Annex A

Mesures antropomètriques

El nostre usuari model serà un mascle adult dins de la franja d'edat entre els 25 i 34 anys. Aquesta és la franja on l'home arriba a la plenitud física, és a dir, és quan pesa i mesura més.

Es farà servir el percentil 95 per assegurar-nos que la gran majoria d'aquesta població entri dins dels paràmetres definits. Aquestes mesures s'han extret de taules antropomètriques del llibre "Las dimensiones humanas en los espacios interiores".

Taula AA.1. Mesures antropomètriques per a un percentil 95 en una franja d'edat de 25-34 anys

PERCENTIL 95 – EDAT 25-34 anys

Mesures antropomètriques	Valor
<i>(A) Alçada poplitea (mm)</i>	500
<i>(B) Distància natja-poplitea (mm)</i>	556
<i>(C) Alçada del colze en repòs (mm)</i>	297
<i>(D) Alçada espatlles assegut (mm)</i>	693
<i>(F) Amplada colze-colze (mm)</i>	500
<i>(G) Amplada de malucs (mm)</i>	406
<i>(H) Amplada espatlles (mm)</i>	526
<i>Pes (kg)</i>	101.2

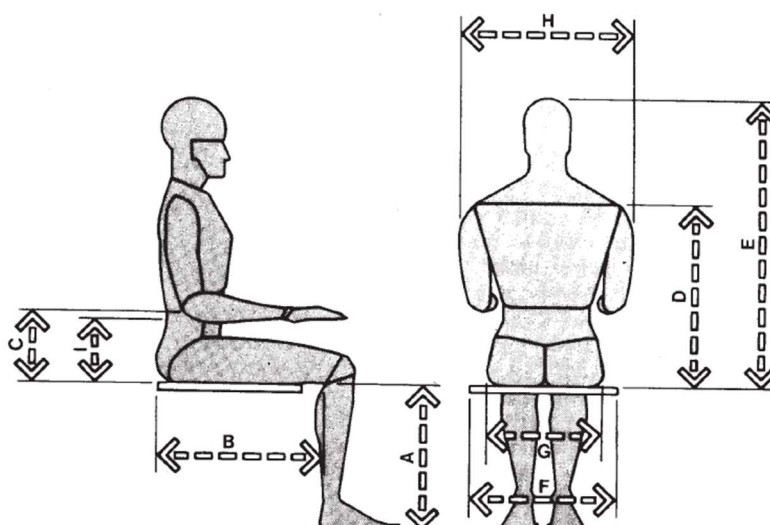


Figura AA.1. Mesures antropomètriques fonamentals per al disseny de cadires

Ergonomia de la cadira

Una cadira mal dissenyada pot traduir-se en el fet que asseure's resulti cansat i contraproductiu. Un bon seient és aquell que permet el canvi de postura asseguda o el moviment dins la mateixa. Ha de ser còmoda i, alhora, ha de donar la sensació d'estabilitat mitjançant el control de les superfícies que reben el pes de l'usuari.

En general, una cadira que ens quedi petita serà més còmode que no pas una cadira que ens quedi gran, és per això que es fan servir les mesures relatives al 5è percentil, ja que d'aquesta manera ens assegurem que a un baix percentatge de la població la cadira li quedarà gran.

Alçada del seient

De totes les dimensions d'una cadira, l'alçada és una de les més rellevants. Ha de permetre que la part posterior de les natges no quedi comprimida i que l'extrem anterior de la cadira no impedeixi la circulació de la sang a les cames.

Si una cadira és massa alta, es produirà una compressió de les cuixes que provocarà talls a la circulació sanguínia i sensació de formigueig a les cames. A més, les plantes dels peus tindran tendència a inclinar-se per tocar amb la punta el terra i això crearà una disminució de l'equilibri. Conseqüentment, el cos lliscarà cap endavant i qualsevol previsió de disseny de la profunditat del seient haurà sigut inútil.

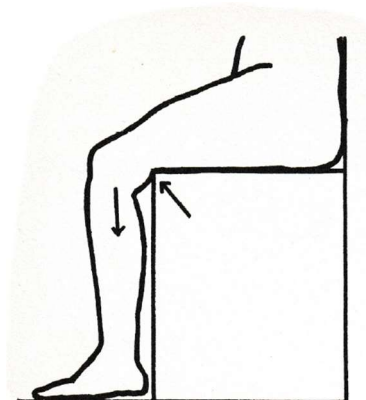


Figura AA.2. Conseqüències d'una cadira massa alta

En canvi, si una cadira és massa baixa el cos s'encorbarà cap endavant i perdrà comoditat. Addicionalment, les cames llisgaran cap endavant perdent, així, estabilitat amb el terra.

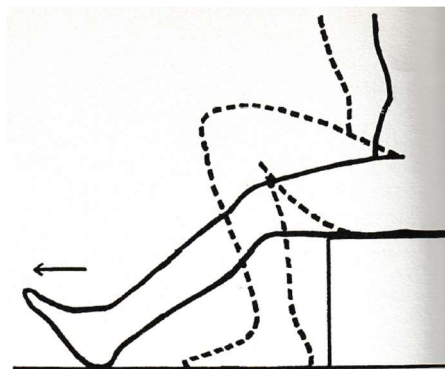


Figura AA.3. Conseqüències d'una cadira massa baixa

16" (406 mm) es considera una bona alçada del seient per a adults.

Reposapeus

Els reposapeus s'utilitzen en els casos en el quals la cadira està més elevada del normal. En el cas d'una cadira de rodes, no ens interessa que els peus puguin tocar el terra ja que frenarien el moviment de la cadira. És important, per tant, l'ús de reposapeus en cadires de rodes. L'angle de la cama respecte la planta del peu haurà de ser d'entre 90° i 100°. A més, haurà d'incloure un topall per als talons quan l'angle de la planta del peu sigui major als 15° respecte l'horitzontal.

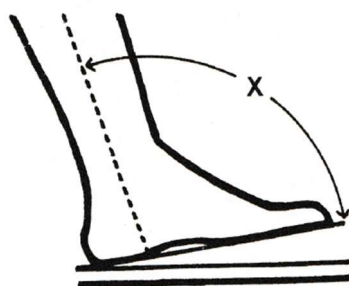


Figura AA.4. Angle de la cama respecte de la planta del peu en un reposapeus

Reposabraços

Els reposabraços tenen diferents funcions: per una banda carreguen amb el pes dels braços en la posició asseguda i, per l'altra, ajuden a l'usuari a asseure's o aixecar-se. Uns bons reposabraços són aquells que permeten a l'usuari acomodar els braços sense necessitat de baixar les espatlles (reposabraços massa baixos) o aixecar la els malucs de la superfície del seient.

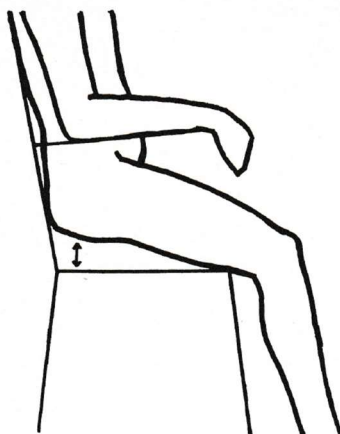


Figura AA.5. Conseqüències d'un reposabraç massa elevat

Una distància bona entre reposabraços és 19" (483 mm), mentre que una bona alçada de reposabraços és 8" (203 mm) respecte el seient de la cadira.

Amplada del seient

En el cas de les cadires de rodes hem de tenir en compte l'amplada del seient, ja que per normativa tenim limitada l'amplada de la cadira de rodes. Es considera que una bona amplada del seient és de 18" (457 mm).

Profunditat del seient

La profunditat del seient és també una mesura important alhora de dissenyar una cadira. Si el seient és massa profund, el extrem del anterior entrarà en contacte amb la part posterior dels genolls i entorpirà el reg sanguini a les cames, el que provocarà una molèstia semblant a la que es produïa quan el seient estava massa elevat. En canvi, un seient massa curt provocarà a l'usuari una sensació d'instabilitat i falta de superfície de recolzament quan modifiqui la posició i desplaci les natges cap endavant. Aquest moviment és essencial per pal·liar el dolor a les cames degut a una llarga estada en la mateixa postura.

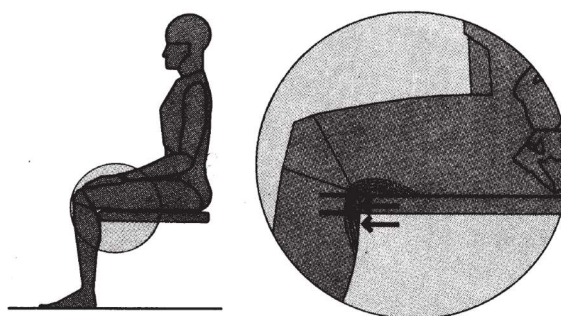


Figura AA.6. Conseqüències d'un seient massa profund

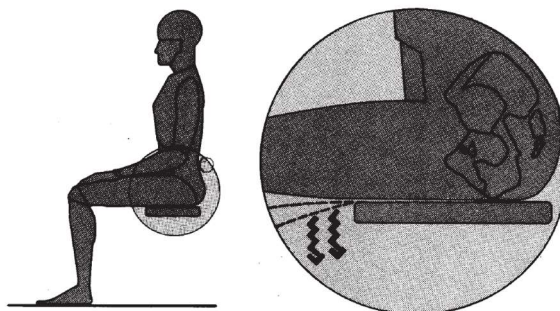


Figura AA.7. Conseqüències d'un seient poc profund

Tot i que no pertanyi específicament a la profunditat, un altre aspecte que ha de tenir el seient és una certa inclinació per evitar el lliscament de les natges cap endavant i perdre així una postura saludable. Un angle recomanable d'inclinació del seient seria de 3° i 5° respecte de la horitzontal.

Considerarem 15.5" (393.7 mm) una profunditat de seient adient.

Respatller

El principal objectiu d'un respatller és suportar la regió lumbar de l'esquena, és per això que es buscarà el màxim confort en aquesta zona. S'ha de poder deixar una certa folgança a l'alçada de les natges per permetre un canvi de posició. Aquesta folgança pot ser en forma d'espai lliure i es recomana que tingui una mesura de 5" (127 mm).

El respatller ha de formar un cert angle respecte la superfície del seient. Aquest angle serà diferent en funció de l'ús que li vulguem donar a la cadira (posició dreta, relaxada o inclinada). Un respatller inclinat ajuda a una posició confortable i a que el cos no tingui tendència a lliscar cap endavant. A més, ajuda a que la secció del respatller que s'encarrega de suportar la zona lumbar estigui aprofitada al màxim. Podem considerar un angle d'entre 95° i 115° respecte de la superfície de la base del seient.

Pel que fa a l'alçada del respatller, en el cas d'una cadira de rodes ens interessa que no només suporti la zona lumbar, ja que d'aquesta manera la fem més còmoda tenint present llargues estones on l'usuari s'hi haurà de passar assegut. És per això que l'alçada haurà d'arribar fins a la zona escapular de l'esquena. Considerarem que 20" (508 mm) és una bona mesura d'alçada de respatller.

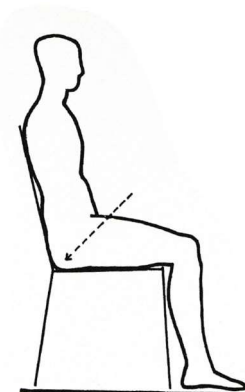


Figura AA.8. Un seient i un respatller inclinats ajuden a adoptar una posició més còmode

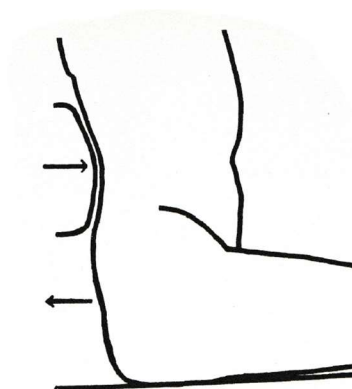


Figura AA.9. Una certa folgança per a les natges permeten la possibilitat de canvis de posició

Mesures fonamentals de la cadira de rodes

Les mesures fonamentals de la cadira seran les següents, recollides en la següent taula:

Taula AA.2. Mesures fonamentals de la cadira

<i>Mesura</i>	<i>Valor</i>
<i>Alçada del seient (mm)</i>	406
<i>Distància entre reposabraços (mm)</i>	483
<i>Alçada dels reposabraços (mm)</i>	203
<i>Amplada del seient (mm)</i>	457
<i>Angle d'inclinació del seient (°)</i>	3 - 5
<i>Profunditat del seient (mm)</i>	393,7
<i>Folgança per a les natges (mm)</i>	127
<i>Angle del respall respecte al seient (°)</i>	95 - 115
<i>Alçada del respall (mm)</i>	508

Annex B

Propietats dels materials seleccionats per al disseny de la cadira de rodes

a) Poliuretà termoplàstic

Taula AB.1. Propietats del poliuretà termoplàstic

PROPIETAT	VALOR	UNITATS
<i>Densitat</i>	1450	kg/m ³
<i>Límit elàstic</i>	63.6	MPa
<i>Mòdul elàstic</i>	2.58	GPa
<i>Límit de tracció</i>	64.5	MPa
<i>Mòdul tallant</i>	-	GPa
<i>Coefficient de Poisson</i>	0.49	

b) Acer inoxidable 1.4301 (X5CrNi18-10)

Taula AB.2. Propietats de l'acer inoxidable 1.4301

PROPIETAT	VALOR	UNITATS
<i>Densitat</i>	7900	kg/m ³
<i>Límit elàstic</i>	400	MPa
<i>Mòdul elàstic</i>	200	GPa
<i>Límit de tracció</i>	600	MPa
<i>Mòdul tallant</i>	79	GPa
<i>Coefficient de Poisson</i>	0.28	

c) Alumini 2011-T6

Taula AB.3. Propietats de l'alumini 2011-T6

PROPIETAT	VALOR	UNITATS
<i>Densitat</i>	2830	kg/m ³
<i>Límit elàstic</i>	270	MPa
<i>Mòdul elàstic</i>	70	GPa
<i>Límit de tracció</i>	395	MPa
<i>Mòdul tallant</i>	26	GPa
<i>Coefficient de Poisson</i>	0.33	

d) Polietilè d'alta densitat

Taula AB.4. Propietats del polietilè d'alta densitat

PROPIETAT	VALOR	UNITATS
<i>Densitat</i>	952	kg/m ³
<i>Límit elàstic</i>	22.1	MPa
<i>Mòdul elàstic</i>	1.07	GPa
<i>Límit de tracció</i>	26.2	MPa
<i>Mòdul tallant</i>	377.2	MPa
<i>Coefficient de Poisson</i>	0.41	

e) Niló 6/6

Taula AB.5. Propietats del niló 6/6

PROPIETAT	VALOR	UNITATS
<i>Densitat</i>	1130	kg/m ³
<i>Límit elàstic</i>	62.5	MPa
<i>Mòdul elàstic</i>	2.30	GPa
<i>Límit de tracció</i>	62.6	MPa
<i>Mòdul tallant</i>	-	GPa
<i>Coefficient de Poisson</i>	0.40	

